6/6.18

Sensor-IC's

Inhoud

6/6.18.4

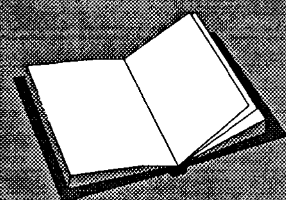
Vochtsensoren

Inleiding

Een nuttige bezigheid!
Het meten van de aanwezigheid van vocht is een nuttige bezigheid, waarvoor iedere hobbyïst tal van toepassingen weet te verzinnen. Iedereen die een wasmachine in de kelder heeft staan zou eigenlijk een detector moeten bouwen, die alarm slaat als er een lekkage optreedt. Het laten leegpompen van een kelder door de brandweer kost een heleboel geld, om maar niet te spreken over de schade die een onder water gelopen kelder tot gevolg kan hebben! In streken met een hoog grondwaterpeil kan men, dank zij een vochtsensor, op een heel eenvoudige manier een volledig automatisch werkend systeem bouwen, dat gaat pompen als er om de een of andere reden grondwater in de kelder binnen dringt. Dat een vochtsensor voor iedere bezitter van alles dat op het water drijft handig, om niet te zeggen onmisbaar is, zal wel duidelijk zijn. Maar ook in het huis zijn er nog meer nuttige toepassingen te verzinnen. Een draagbaar vochtsensortje met batterijvoeding en acoustisch alarm zou bijvoorbeeld gebruikt kunnen worden om de huisvrouw of -man er aan te herinneren dat het eigenlijk de bedoeling was dat de was buiten aan de waslijn droger zou worden in plaats van natter. Een vochtsensor is ook een handig hulpmiddel om te verhinderen dat kamers half onder water regenen via de nachtelijk geopende ramen. Kortom, toepassingen zat die bovendien in de meeste gevallen erg eenvoudig in elkaar te knutselen zijn en waar de ware doe-het-zelver allerlei persoonlijke extra's aan kan toevoegen.

Nog meer toepassingen
De genoemde voorbeelden zijn staaltjes van eenvoudige ja/nee-detecties. Dergelijke schakelingen kunnen ook zonder speciale vochtsensoren gerealiseerd worden. Maar door gebruik te maken van de speciale in dit hoofdstuk beschreven IC's zijn nog andere, ingewikkelder toepassingen te verzinnen. Zo is het mogelijk het niveau in een vat met vloeistof analoog te meten.
Ook hiervoor zijn tal van nuttige toepassingen te bedenken! Tot slot kan men met capacitieve vochtsensoren ook de lucht-

LEES OOK:
Hoofdstuk 4/14.1
Hoofdstuk 4/14.24.3
Hoofdstuk 6/6.3
Hoofdstuk 6/6.9



6.18.4 Vochtsensoren

vochtigheid meten. Een toepassing van het meten van "verborgen" vocht, die natuurlijk ook uitermate nuttige toepassingen heeft. Ieder elektronisch weerstation bevat tegenwoordig immers een luchtvochtigheidsmeter oftewel hygrometer. Bovendien kan men door het elektronisch meten van de luchtvochtigheid volledig automatisch luchtbevochtigers of -ontvochtigers inschakelen.
Kortom, meer dan genoeg toepassingen om de hobbyïst in hart en nieren maanden lang zoet te houden!

Weinig beschikbare IC's

Men zou dus verwachten dat de halfgeleiderindustrie een groot assortiment aan vochtsensoren op de markt brengt.
Welnu, als men de industriële zeer dure sensoren voor de chemische en procesindustrie buiten beschouwing laat, valt dat vies tegen. In feite leveren alleen National Semiconductor (NatSemi) en Telefunken enige aardige schakelingetjes, die niet duur en voor de hobbyïst praktisch te gebruiken zijn. Daarnaast levert Philips de enige goed verkrijgbare en betaalbare luchtvochtigheidssensor.
Desondanks werkt dat handjevol IC's volgens nogal uiteenlopende principes, zodat het noodzakelijk is nogal wat achtergrond-informatie te geven alvorens de diverse schakelingen praktijkgericht aan bod kunnen komen.

Het meten van vocht

Met vochtsensoren kan men niet alleen op een ja/nee-manier de aanwezigheid van vocht vaststellen, maar ook bijvoorbeeld het niveau van een vloeistof in een reservoir bepalen.
Twee meetopdrachten die moeilijk met één algemeen principe vervuld kunnen worden. Voor huis-, tuin- en keukengebruik zal men natuurlijk hoofdzakelijk geïnteresseerd zijn in de ja/nee-detectie van de aanwezigheid van water en in het meten van de luchtvochtigheid. Toch zullen in dit hoofdstuk ook die schakelingen worden besproken, waarmee men bijvoorbeeld het oliepeil in het motorblok van de auto kan meten. Een toepassing die weliswaar veel moeilijker te realiseren is dan het meten van de aanwezigheid van water in de kelder, maar die voor de geoefende doe-het-zelver een grote uitdaging kan zijn.
Vochtsensoren werken volgens vier principes:
- het resistieve principe;
- het dompel principe;
- het thermische principe;
- het capacitieve principe.

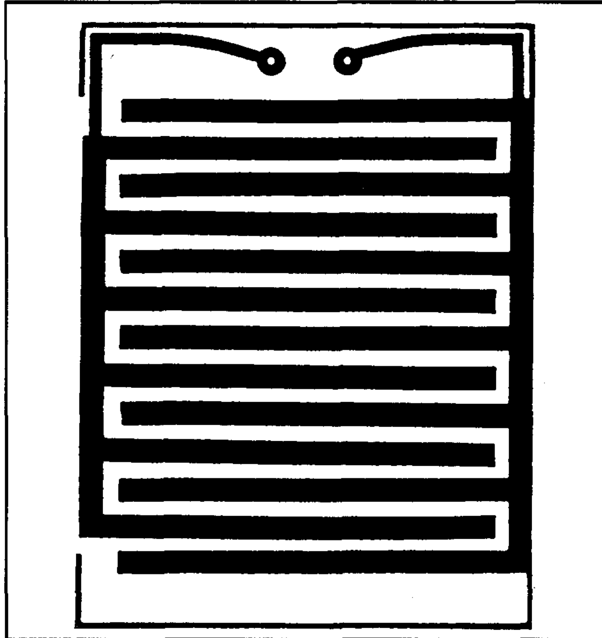
In de vier volgende subhoofdstukjes worden deze principes besproken, samen met de sensor-IC's of sensoren die volgens deze principes werken. Uiteraard worden tal van praktische voorbeeld-schakelingen gegeven!

Het resistieve principe

Het werkingsprincipe

Het principe van de resistieve vochtsensoren is erg eenvoudige en voor de hand liggend. Maak volgens figuur 6/6.18.4-1 een printje, waarop twee kopersporen onder de vorm van een kam in elkaar grijpen.
Sluit deze probe aan op een IC. Als de kam droog is heeft het printje een zo goed als oneindig hoge weerstand. Komt de probe in contact met een geleidende vloeistof zoals water, dan daalt de weerstand van het printje en dit gegeven wordt door het IC gedetecteerd.

6.18.4 Vochtsensoren



Figuur 6/6.18.4-1: Het principe van de resistief werkende vochtsensoren.

Nadelen van de resistieve sensoren

Ondanks de eenvoud van het principe heeft de resistieve meting niets dan nadelen.

- Elektrolyse
  Het principe is alleen toe te passen in situaties waarbij het onder normale omstandigheden niet kan voorkomen dat de sensor vochtig wordt. Alleen in uitzonderlijke alarmsituaties mag de sensor nat worden en moet na het opheffen van de alarmtoestand weer onmiddellijk en grondig droog gemaakt worden. De sensor werkt immers op gelijkspanning. De koperen kam van de sensor zal dan elektrolyse-verschijnselen gaan vertonen als hij vochtig wordt. Afhankelijk van de aard van de vloeistof kunnen er dan zeer reactieve gassen aan de elektroden van de sensor ontstaan. Zelfs als met zuiver water gewerkt wordt, zal de elektrolyse aan de elektroden van de kam waterstof- en zuurstofgas doen ontstaan. Het zuurstofgas zal onmiddellijk een chemische reactie met het koper van de kam aangaan, waarbij groen koperoxyde wordt gevormd. Het gevolg is dat de koperen sporen van de kam oxyderen en de sensor na enige tijd onbruikbaar wordt.
- Hygroscopie
  Een tweede groot nadeel van dit principe is dat de kam door vervuiling en hygroscopie langzaam maar zeker ook onder droge kondities een vrij grote lekstroom kan gaan vertonen en het alarm aanspreekt.
- Geleiding
  Groot nadeel, maar dat zou in feite niet extra vermeld moeten worden, is dat dit systeem alleen werkt als men te maken heeft met elektrisch geleidende vloeistoffen. Lang niet alle vloeistoffen zijn geleidend. Diverse vloeistoffen, zoals olie, zijn zelfs ideale isolatoren!
- Elektrocutatie
  De elektronische schakeling die met de kam verbonden wordt staat is rechtstreeks galvanisch contact met de vloeistof. Nu is water een goede geleider en het gevolg is dat als de kam ondergedompeld wordt ook het water onder spanning komt te staan. Dat kan uiteraard tot zeer gevaarlijke situaties leiden en het wordt dan ook ten stelligste aangeraden dergelijke schakelingen uitsluitend uit een batterij te voeden.

Het zal dan ook duidelijk zijn dat niet veel IC-fabrikanten hun goede naam willen verliezen door resistief werkende vochtsensoren op de markt te brengen. Alleen NatSemi heeft één IC'tje in de handel dat volgens dit systeem werkt.

De LM 1801 van NatSemi

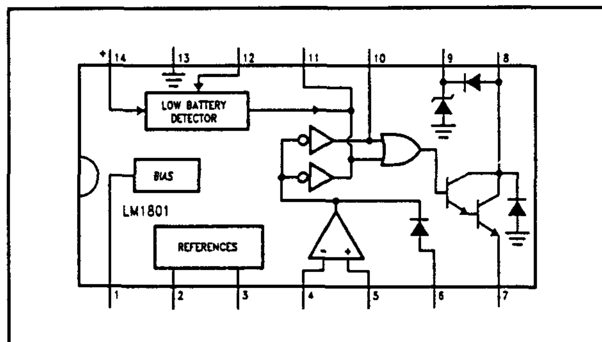
De LM 1801 bevat een nauwkeurige spanningsreferentie, een comparator met een

6.18.4 Vochtsensoren

extreem laag eigen stroomverbruik en een zeer hoge ingangsimpedantie en een logische schakeling die via een open-collector trap op pen 8 een alarmuitgang aanstuurt. De schakeling verbruikt slechts 8 µA stroom en kan daardoor uit een batterij gevoed worden, waardoor de directe elektrische koppeling tussen de resistieve sensor en de vloeistof niet tot gevaarlijke situaties kan leiden. Ondanks dit lage eigen stroomverbruik kan de open-collector uitgangstrap in geactiveerde toestand meer dan 500 mA schakelen. Met een 9 V alkaline batterij als voeding kan de schakeling meer dan een jaar werken. De schakeling is dus ideaal voor het bewaken van ruimten tegen slechts in noodgevallen voorkomende vochtigheid, zoals kelders, vaartuigen, etc. De nadelen van het resistieve principe wegen dan ook niet zo zwaar. De schakeling bevat een detector voor te lage voedingsspanning die door middel van een externe weerstand geprogrammeerd kan worden.

Via een parallelle uitgang kunnen tot negen LM 1801 schakelingen onder de vorm van een "wired-OR" parallel worden geschakeld. De referentiespanningsgenerator heeft twee uitgangen op de pennen 2 en 3 van respectievelijk 5,8 V en 5,2 V. Deze referentiespanningen kunnen gebruikt worden voor het instellen van een drempel, waarbij de comparator omklapt. Het intern blokschema van de in DIL-14 ondergebrachte LM 1801 is getekend in figuur 6/6.18.4-2.

De schakeling kan gevoed worden uit een spanning tussen +8 V en +14 V. De temperatuurscoëfficiënt van de ingebouwde referentiespanning is gelijk aan 5 mV/°C. De comparator heeft een maximale offsetspanning van 15 mV, een maximale offsetstroom van 8 nA en een biasstroom van 10 nA.



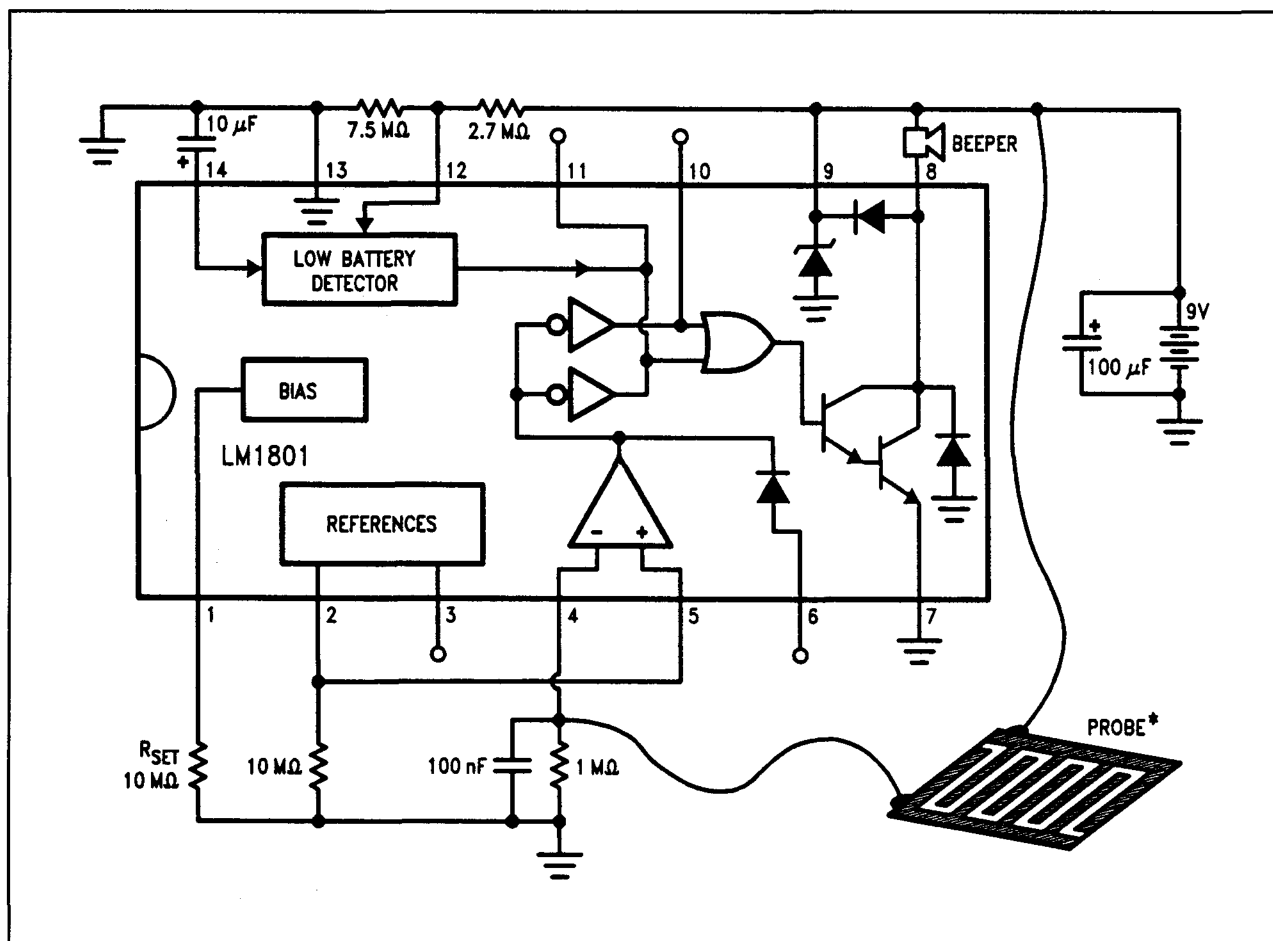
Figuur 6/6.18.4-2: Aansluitgegevens en intern blokschema van de LM 1801.

Het "low battery"-alarm werkt als volgt. Om de 40 seconde meet de schakeling de waarde van de batterijspanning.

Met de in het voorbeeldschema van figuur 6/6.18.4-3 ingetekende waarden van de weerstanden wordt de voedingsspanning vergeleken met een drempel van 6,5 V. Als de voedingsspanning groter is gebeurt er verder niets. Is de voedingsspanning echter lager, dan zal de schakeling de open-collector trap gaan sturen met pulsjes van 60 ms. Dit kan door de op pen 8 aangesloten alarmmelder gedetecteerd worden. Het "low battery"-alarm kan uitgeschakeld worden door de pennen 12 en 14 met elkaar te verbinden.

De uitgangstrap is in staat lampjes, LED's, zoemers, relais en motoren aan te sturen. Toch kan niet iedere belasting gebruikt worden in kombinatie met het "low-battery"-alarm. Dit wekt immers pulsjes op met een breedte van slechts 60 ms en deze kunnen dus in feite alleen door een zoemer of een LED gedetecteerd worden. Sommige zoemers zullen bij deze pulsbreedte niet meer dan een korte klik produceren. Zoemers met ingebouwde oscillator zullen op een puls met een breedte van 60 ms in de meeste gevallen reageren met het opwekken van een kort toontje.

6.18.4 Vochtsensoren



Figuur 6/6.18.4-3: De externe schakeling rond de LM 1801.

In figuur 6/6.18.4-3 is de door de fabrikant voorgeschreven externe schakeling rond de LM 1801 getekend.
De sensor wordt verbonden tussen de voeding en één ingang van de comparator. De tweede ingang van de comparator wordt rechtstreeks verbonden met een van de referentiespanningen. Deze ingang moet echter wel door middel van een grote weerstand met de massa verbonden worden. De parallelschakeling van de weerstand van 1 MΩ en de condensator van 100 nF aan de niet-inverterende ingang van de comparator maakt de schakeling ongevoelig voor brom- en stoorsignalen, die via de eventueel lange leiding van de probe opgepikt zouden kunnen worden. Als de kamvormige probe ver van het IC moet worden gemonteerd, moet men de probe door middel van een afgeschermd snoertje met de schakeling verbinden.

Besluit

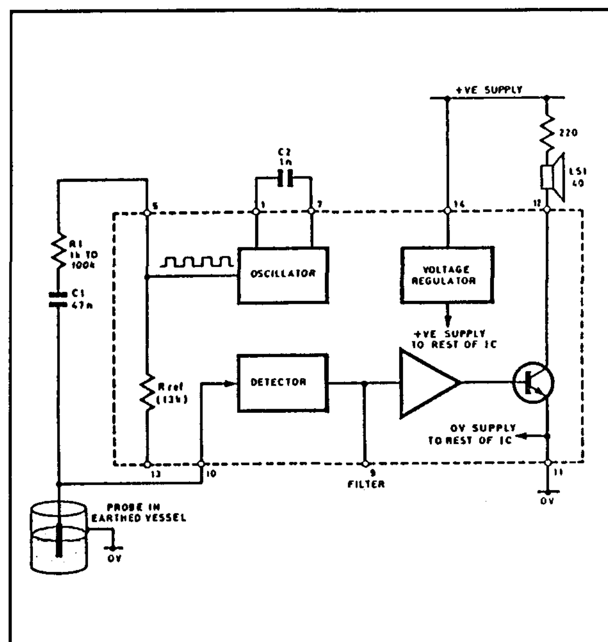
De LM 1801 is een ideale schakeling voor het bouwen van bijvoorbeeld een draagbare regenverklikker.
Dank zij het gering aantal onderdelen kan het IC, samen met batterijtje en miniatuur zoemer, in een heel klein kastje ondergebracht worden.
De bovenzijde van het kastje kan gebruikt worden voor het monteren van de kamvormige sensor.

6.18.4 Vochtsensoren

Het dompel principe

De principiële werking

Ook de dompel sensoren werken in principe resistief. Waaruit onmiddellijk de begrenzing van het principe volgt: dompel sensoren zijn alleen bruikbaar als men met geleidende vloeistoffen te maken heeft! Bovendien zijn deze sensoren in principe alleen maar geschikt voor het bewaken van een vloeistofniveau in een geleidend vat. Maar door een truukje uit te halen kan men er ook het al dan niet aanwezig zijn van een vloeistof in een ruimte mee aantonen. Door een uitgekiende technologie heeft men de overige bezwaren van de resistieve sensoren weten te ondervangen.



Figuur 6/6.18.4-4: Het principe van de dompel sensoren.

Het principe van een dompel sensor is getekend in figuur 6/6.18.4-4. Het vat, waarin het vloeistofniveau bewaakt moet worden, is elektrisch geleidend en moet dus van metaal zijn gemaakt. Dit vat wordt geaard. In het vat wordt één geleidende probe geïsoleerd aangebracht. Deze probe wordt zo bevestigd dat de punt staat op het te bewaken niveau. De "fluid level detector" bevat een oscillator, die een vierkantspanning van enige tientallen kHz genereert. Dit signaal gaat via een scheidingscondensator naar de probe, maar ook naar de ingang van een detector. Als het niveau van de vloeistof lager staat dan de punt van de probe, dan zal het volledig signaal van de oscillator rechtstreeks naar de detector gaan. Komt het vloeistofniveau echter in aanraking met de punt van de probe, dan zal een deel van het signaal via de geleidende vloeistof en het geleidende vat afvloeien naar de massa. Er wordt immers een spanningsdeler gevormd tussen de genoemde weerstanden en de weerstand R1 van 1 kΩ tot 100 kΩ, die in serie staat met de scheidingscondensator. De detector registreert de spanningsdaling en stuurt, eventueel via een logische schakeling, het alarm.

Voor- en nadelen van de dompel sensor

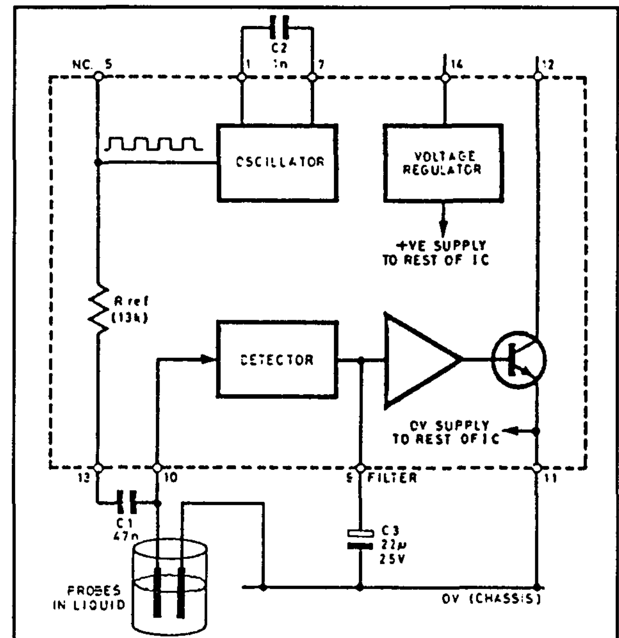
De dompel sensor heeft, vergeleken met de resistieve probe, een aantal voordelen.

- Geen elektrolyse
  De dompel elektrode wordt gevoed met een zuivere wisselspanning. De scheidingscondensator zorgt er immers voor dat iedere gelijkspanning wordt tegengehouden. Het systeem heeft dus geen last van elektrolyse, want dit fysische verschijnsel kan alleen optreden als er sprake is van het vloeien van gelijkstroom. Er ontstaan dus ook geen gasbellen op de dompel elektrode en het is uitgesloten dat deze daardoor corrodeert.
- Minder onderhoud

6.18.4 Vochtsensoren

De elektrode moet niet droog gemaakt worden na een overschrijden van het niveau.
Van zodra de vloeistofspiegel zakt en het contact tussen het vloeistofoppervlak en de punt van de elektrode verbroken wordt, zal het elektrische stroompad onderbroken worden.

Het systeem heeft echter ook één groot nadeel. De dompel elektrode kan niet geïsoleerd worden tegen de invloed van de vloeistof. Vandaar dat dit systeem niet in alle omstandigheden bruikbaar is of soms gebruik moet worden gemaakt van zeer dure probes uit een of ander edelmetaal, dat tegen alle vormen van chemische corrosie bestand is.
Dit laatste bezwaar zal bij toepassen in de huiselijke omgeving natuurlijk niet zo zwaar wegen, want men zal hoofdzakelijk met chemisch vrij inactief gewoon regenwater te maken krijgen.



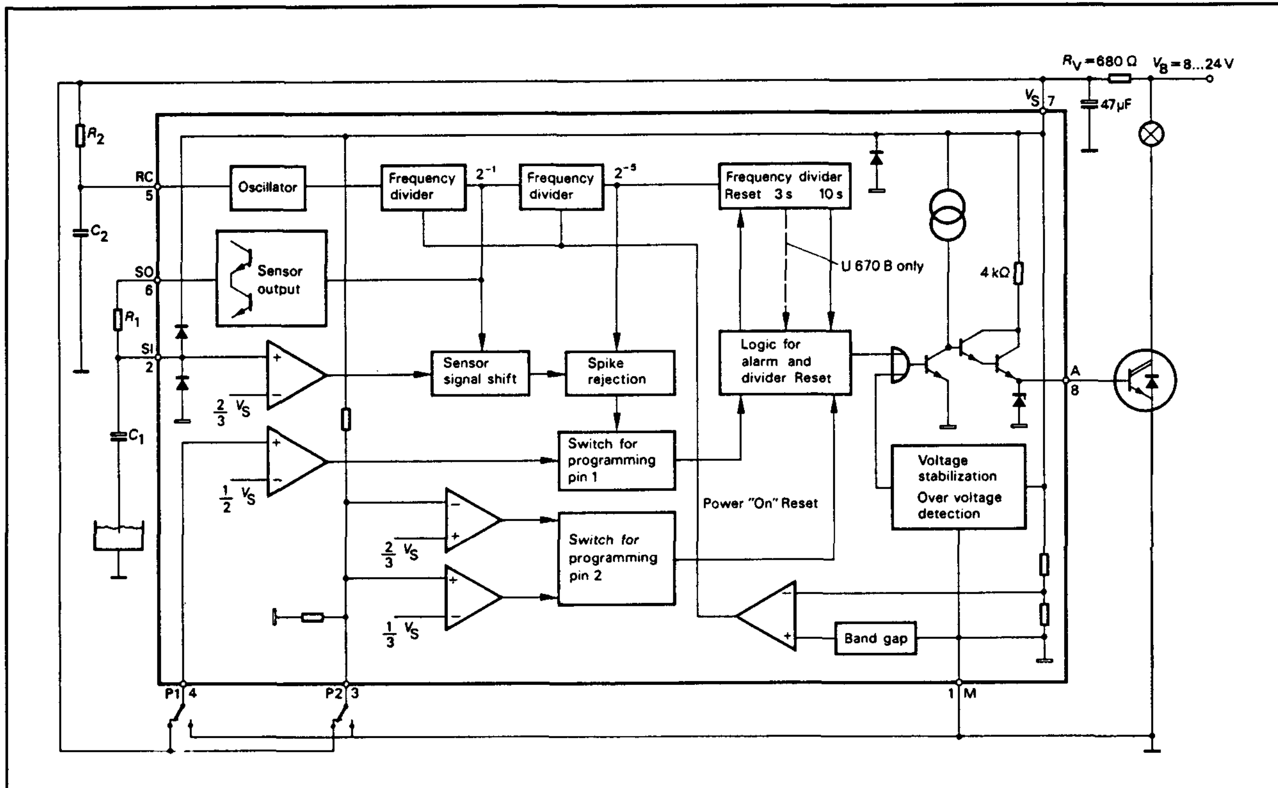
Figuur 6/6.18.4-5: Het meten met twee dompel elektroden, waarbij de tweede elektrode rechtstreeks met de massa van het systeem wordt verbonden.

Meten met twee dompel elektroden
Als men het vloeistofniveau in een niet elektrisch geleidend vat wil meten, of men wil het systeem gebruiken als overstromingsalarm, dan kan men gebruik maken van het principe dat geschetst is in figuur 6/6.18.4-5.
De tweede elektrode wordt dan rechtstreeks met de massa verbonden. De stroomkring wordt gesloten als het vloeistofniveau contact maakt met beide elektroden.

De U 670B en U 672B van Telefunken
De U 670B en U 672B zijn twee vrijwel identieke IC's van Telefunken. De schakelingen zijn in principe bedoeld voor het bewaken van vloeistofniveaus in de auto. De IC's zijn echter zo universeel van opzet, dat ook toepassingen in het huishouden mogelijk zijn.

Het vrij ingewikkeld intern blokschema van beide IC's is getekend in figuur 6/6.18.4-6. De schakeling bevat een zaagtandoscillator waaruit via frequentiedelers een mooie blokspanning wordt gemaakt. Dit signaal is het sensorsignaal. De schakeling bevat uitgebreide beveiligingen tegen stoorpulsen en niet acceptabele voedingscondities. De alarm-uitgang moet via een NPN-darlington aangesloten worden op de alarmgever. De U 670B bevat een ingebouwde lamp-test, die na het inschakelen van de voedingsspanning drie seconden een signaal naar de alarmuitgang stuurt. Op deze manier kan men iedere keer bij het inschakelen van het systeem controleren of de alarm-indicator het nog doet. De U 672B heeft deze voorziening niet.

6.18.4 Vochtsensoren



Figuur 6/6.18.4-6: Het intern blokschema van de U 670B en U 672B van Telefunken.

De schakelingen hebben twee programmeer-pennen P, waarmee een aantal functies van de schakeling extern geprogrammeerd kan worden.

De frequentie van de interne zaagtand-oscillator wordt bepaald door een weerstand R2, geschakeld tussen de voeding en pen 5 (RC) en een condensator C2 geschakeld tussen pen 5 (RC) en de massa. De frequentie van deze generator wordt bepaald door de uitdrukking:

f=1/[C.(0,632.R+1900)]

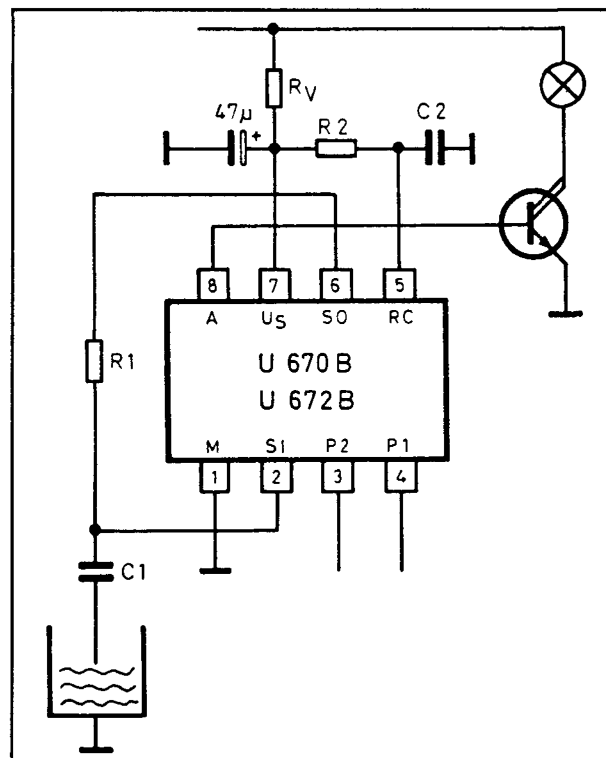
Met de door de fabrikant voorgeschreven waarden van 100 kΩ en 4,7 nF werkt de oscillator op een frequentie van 3,268 kHz. De frequentie van het uitgangssignaal van de zaagtandgenerator wordt door twee gedeeld. De perfecte blokspanning die daarvan het resultaat is gaat naar de sensor-uitgang op pen 6 (SO). Via een weerstand gaat dit signaal weer terug naar de sensor-ingang op pen 2 (SI). De comparator die op deze pen is aangesloten, zal omschakelen als de weerstand tussen de sensor en de massa tussen 10 kΩ en 30 kΩ ligt.

De schakeling heeft een voorziening waarmee korte sensor-pulsen, bijvoorbeeld door trillingen van de vloeistofspiegel, onderdrukt kunnen worden. Deze zogenoemde "spike-onderdrukking" zorgt ervoor dat niveauveranderingen, die korter dan 80 ms duren, de schakeling niet activeren. Wordt de schakeling geactiveerd, dan start een vertragingslus van tien seconden. Na afloop van deze lus wordt de alarm-uitgang (A) op pen 8 geactiveerd.

De voorwaarde, waaronder dit gebeurt, wordt bepaald door de spanning op de programmeer-pen P1 (pen 4). Wordt deze ingang met de massa verbonden, dan zal het alarm geactiveerd worden als

6.18.4 Vochtsensoren

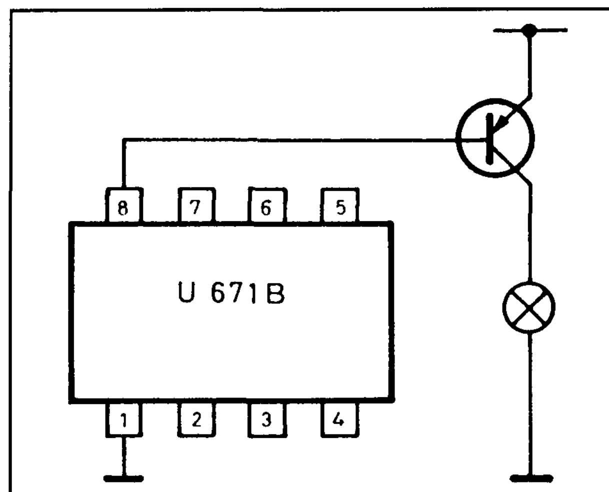
de sensor niet in contact staat met de vloeistof. Ligt P1 aan de voeding, dan gaat het alarm af als de sensorpunt in contact komt met de vloeistof.
De spanning op de programmeer-ingang P2 (pen 3) bepaalt de manier waarop het alarm geactiveerd wordt. Ligt deze ingang aan de massa, dan kan het geactiveerde alarm alleen uitgeschakeld worden door het uit- en nadien weer inschakelen van de voedingsspanning. Ligt deze ingang aan de voeding, dan zal het alarm uitgeschakeld worden op het moment dat de oorzaak van het alarm wegvalt, dus als de punt van de sensor weer droog komt te staan. Op deze manier kan men de schakelingen ook gebruiken voor het sturen van bijvoorbeeld een pomp.
De alarm-uitgang op pen 8 (A) moet via een NPN-darlington het alarm activeren. De uitgangsstroom die pen 8 kan leveren, wordt door een interne beveiligingsschakeling begrensd op 1,2 mA.
Door tussen de voeding en pen 7 (V_S) een weerstand op te nemen kan het IC beschermd worden tegen overspanningen op de voedingslijn. Met een weerstand van 680 Ω is de schakeling bestand tegen overspanningen tot 43 V, waarbij de waarde van de voedingsspanning tussen 8 V en 24 V mag liggen. Verhoogt men deze weerstand tot 1 kΩ, dan ligt het toegestane voedingsbereik tussen 16 V en 32 V, waarbij de schakeling beveiligd wordt tot spanningspieken van 60 V.
In figuur 6/6.18.4-7 is de externe schakeling rond de U670B of U672B getekend bij gebruik van één dompelelektrode. De waarde van de weerstand R1 kan het best experimenteel bepaald worden. Uiteraard kan men het geleidend vat vervangen door een tweede identieke elektrode, die met de massa van de schakeling verbonden wordt.



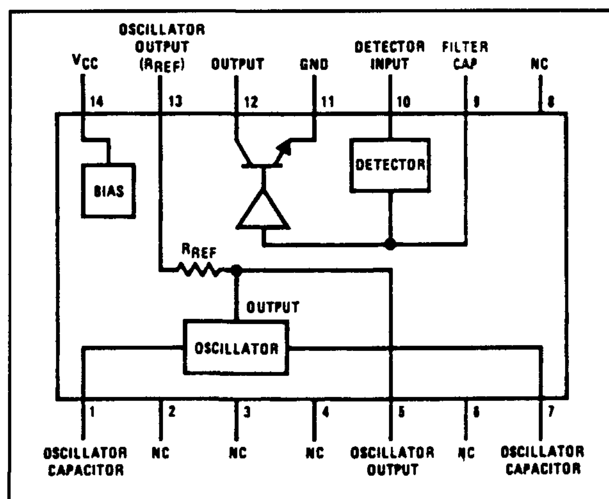
Figuur 6/6.18.4-7: De eenvoudige externe schakeling rond een U 670B of U 672B.

De U 671B en U 673B van Telefunken
Deze schakelingen zijn in grote lijnen vergelijkbaar met de U 670B en U 672B. Het enige verschil is dat de uitgangstrap die het alarm stuurt, nu ontworpen is voor het aansturen van een PNP-transistor, die een alarm-indicator die vast met de massa verbonden is uit de voeding kan sturen. Uit dit gegeven blijkt dat de IC's in wezen ontworpen zijn voor gebruik in de auto, waar immers alle elektrische belastingen één pool aan het chassis hebben liggen.
De U 673B heeft geen automatische lamptest bij het inschakelen van de voedingsspanning.
In figuur 6/6.18.4-8 is getekend hoe de uitgangstrap bij deze IC's geschakeld moet worden. Het sensorgedeelte is uiteraard identiek aan dat getekend in figuur 6/6.18.4-7.

6.18.4 Vochtsensoren



Figuur 6/6.18.4-8: Het aansturen van de alarmtrap bij de U 671B of U 673B.



Figuur 6/6.18.4-9: Intern blokschema van de LM 1830.

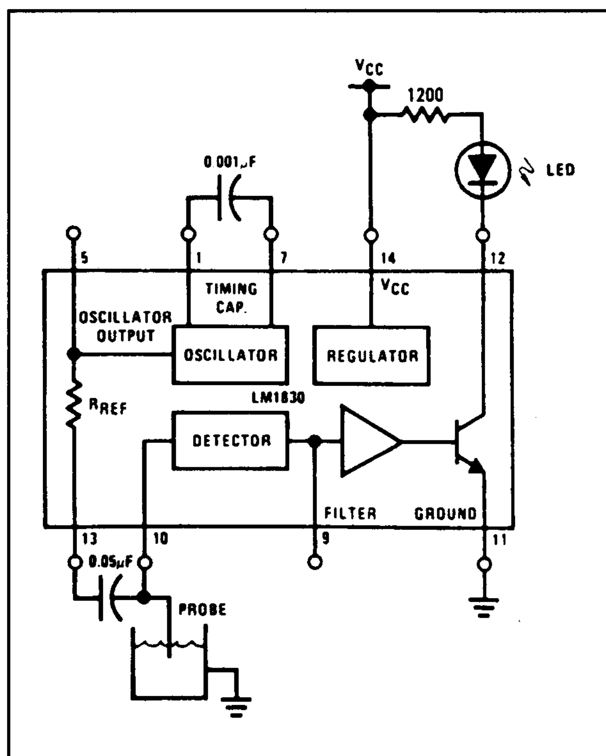
De LM 1830 van NatSemi

De LM 1830 is in principe ontwikkeld voor niveaubewakingstoepassingen in de industriële sfeer. Maar ook hier geldt dat het IC uitstekend te gebruiken is door de hobbyist. Zoals uit het intern blokschema van figuur 6/6.18.4-9 blijkt, bevat de schakeling een vierkantgolfoscillator. Het uitgangssignaal van deze oscillator is het sensorsignaal dat ook aan een detector wordt aangelegd. Als de weerstand van de probe boven een bepaalde waarde stijgt wordt het oscillatorsignaal doorgekoppeld naar de basis van een open-collector transistor. Deze transistor kan een LED, een luidsprekertje of een relais met laag stroomverbruik sturen. Noteer dus goed dat de schakeling een alarm genereert als de sensor géén contact onderhoudt met de vloeistof!

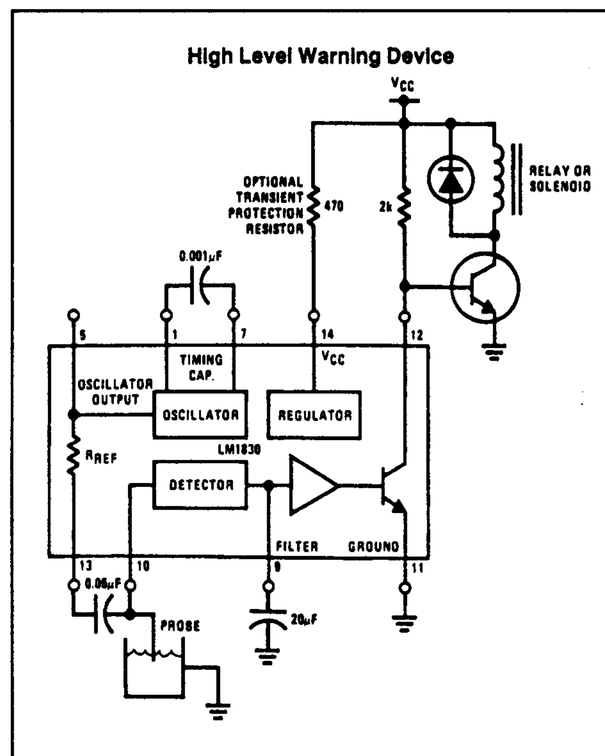
Via een pen, waarop een weerstand kan worden aangesloten, kan men de gevoeligheid van de detector instellen.

De frequentie van de oscillator is omgekeerd evenredig met de waarde van de condensator tussen de pennen 1 en 7. Met een waarde van 1 nF komt een frequentie van ongeveer 6 kHz overeen. De frequentie van de oscillator is in te stellen tussen 4 kHz en 12 kHz. Het uitgangssignaal van de oscillator wordt aangeboden op de pennen 13 en 5. De ene uitgang levert een signaal met een top-tot-top waarde van ongeveer 1,1 V, de tweede uitgang levert ongeveer 4,2 V. Uitgang 13 heeft reeds een serieweerstand van 13 kΩ ingebouwd, waarover het signaal valt als de sensor contact maakt met de vloeistof. De weerstand van de probe naar de massa wordt vergeleken met deze weerstand. De detector zal aanspreken als beide weerstanden aan elkaar gelijk zijn. Komt de soortelijke weerstand van de te bewaken vloeistof echter niet overeen met dit bereik, dan kan men de uitgangsspanning van de oscillator via pen 5 aftakken en een externe referentieweerstand toepassen. Tussen pen 9, de uitgang van de detector en de massa kan een afvlakcondensator worden aangebracht zodat de uitgang van AAN naar UIT schakelt bij het activeren van de detector. Zonder deze filtercondensator zal de uitgang het bloksignaal van de oscillator overnemen.

6.18.4 Vochtsensoren



Figuur 6/6.18.4-10: De meest eenvoudige schakeling rond de LM 1830.

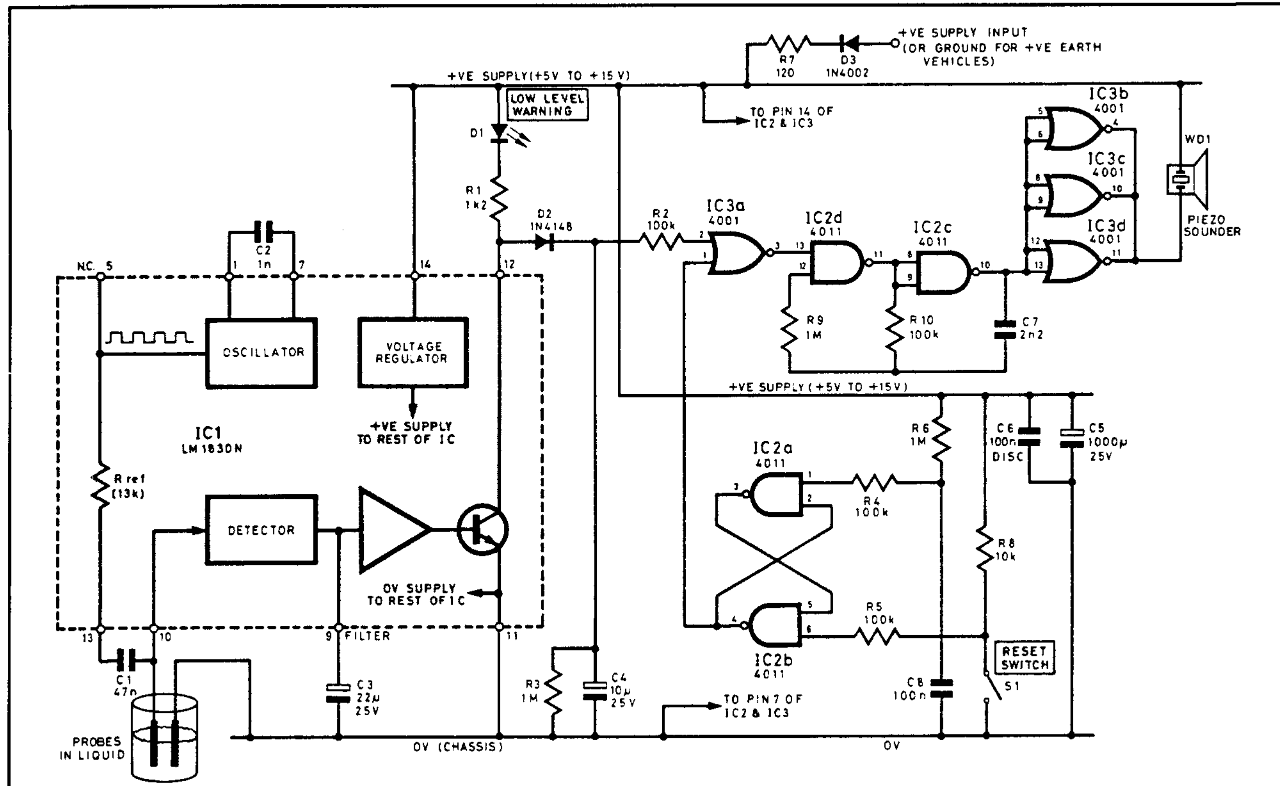


Figuur 6/6.18.4-11: Het aansturen van een pomp met de LM 1830.

De drempelspanning van de detector is ingesteld op 680 mV.
De open-collector uitgang op pen 12 kan maximaal 20 mA verwerken bij een verzadigingsspanning van 2,0 V. De lekstroom van de transistor bedraagt ongeveer 10 μA. De LM 1830 kan gevoed worden uit een spanning van +5 V tot +28 V en verbruikt ongeveer 10 mA stroom. In figuur 6/6.18.4-10 is de meest eenvoudige schakeling rond de LM 1830 getekend. Er zijn slechts twee extern onderdelen nodig voor het instellen van het IC! De alarmuitgang stuurt in dit voorbeeldje een LED, die uiteraard moet voorzien worden van een stroombegrenzende serieweerstand. Omdat de uitgangstrap slechts 20 mA kan schakelen zal men vaak een externe extra schakeltrap moeten aanbrengen.

In figuur 6/6.18.4-11 is bijvoorbeeld getekend hoe men de LM 1830 een relais kan laten bedienen. Dat relais kan dan weer gebruikt worden voor het inschakelen van een pomp.
De interne open-collector transistor vormt samen met de externe transistor een inverterende trap die in staat is stromen van meerdere honderden mA te schakelen. Als de open-collector trap gesperd is, zal de externe transistor via de basisweerstand van 2 kΩ in verzadiging gestuurd worden en dus geleiden. Het relais wordt aangetrokken. Als de LM 1830 geactiveerd wordt, zal de geleidende interne transistor de basis van de externe transistor naar de massa schakelen, waardoor deze transistor gaat sperren en het relais afvalt.

6.18.4 Vochtsensoren



Figuur 6/6.18.4-12: Uitgebreide alarmschakeling rond de LM 1830 met continu acoustisch alarm, dat alleen uit te zetten is door het bedienen van een drukknop.

Deze inverterende werking is noodzakelijk om ervoor te zorgen dat de pomp gaat pompen als de dompel elektrode contact maakt met de vloeistof.

In figuur 6/6.18.4-12 is het schema gegeven van een uitgebreide alarmschakeling, waarbij gebruik wordt gemaakt van twee probes. De tweede probe wordt aan de massa gelegd. De uitgang van de LM 1830 stuurt via de poort IC3a een astabiele multivibrator, die een piëzo-elektrische zoemer als belasting heeft. De poort wordt gecontroleerd door de flip-flop IC2a/b, die bij het inschakelen van de voeding de poort open zet. Alleen door het indrukken van de schakelaar S1 wordt de poort gesperd en zal de astabiele multivibrator, zelfs bij het ontvangen van een alarmsignaal van de LM 1830, uitschakelen.

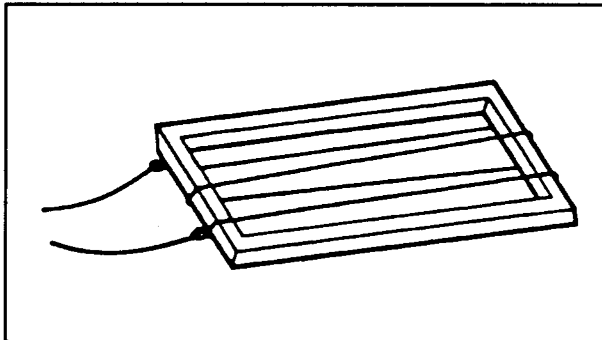
Het thermische principe

Werking

Bij de thermische sensoren hoeft het elektrisch geleidende materiaal van de probe niet in contact te komen met de vloeistof. Dus kan dit materiaal afdoende afgeschermd worden tegen de eventueel zeer corrosieve vloeistof, door er bijvoorbeeld een Teflon of Nylon afscherming rond aan te brengen. Wat gemeten wordt is de temperatuurvariatie van de probe onder invloed van de koelende vloeistof.

Uitgegaan wordt van een probe die een zeer grote positieve temperatuurscoëfficiënt heeft. Door deze probe, die bijvoorbeeld een vorm kan hebben als getekend in figuur 6/6.18.4-13, wordt een vrij grote

pulsvormige gelijkstroom gestuurd. Het gevolg is dat de probe opwarmt en de weerstand toeneemt.



Figuur 6/6.18.4-13: Een voorbeeld van een zelf gebouwde thermische probe.

Deze weerstandstoename kan bepaald worden door de spanningsval over de probe te meten. De temperatuurstijging van de probe is echter afhankelijk van het medium waarin de probe zich bevindt. In lucht zal de probe warmer worden dan in een vloeistof, die in de meeste gevallen de warmte beter geleidt dan de lucht. Door nu het verloop van de spanningsstijging over de probe gedurende een bepaalde tijd te meten, kan het systeem een indruk krijgen of, en zo ja hoever de probe in de vloeistof is gedompeld. Dit biedt dus het zeer interessante perspectief om niet alleen digitaal het al dan niet aanwezig zijn van vloeistof te meten, maar ook analoog het niveau van een vloeistof in een vat te bepalen. Hoe groter het deel van de probe is dat in de vloeistof steekt, hoe meer de probe immers door de vloeistof afgekoeld zal worden.

Voordelen van de thermische methode

Het zal duidelijk zijn dat de thermische methode niets anders dan voordelen heeft:

- het systeem werkt ook met elektrisch niet geleidende vloeistoffen;
- de vloeistof en de probe zijn volledig elektrisch geïsoleerd;
- het materiaal van het vat van de vloeistof heeft geen invloed;
- de probe kan geïsoleerd worden tegen corrosieve vloeistoffen;
- het verloop van de probe-spanning zegt niet alleen iets over het wel of niet ondergedompeld zijn van de probe, maar geeft ook informatie over de mate van onderdompeling;
- het systeem kan ook gebruikt worden om de stroomsnelheid van vloeistoffen of gassen te meten.

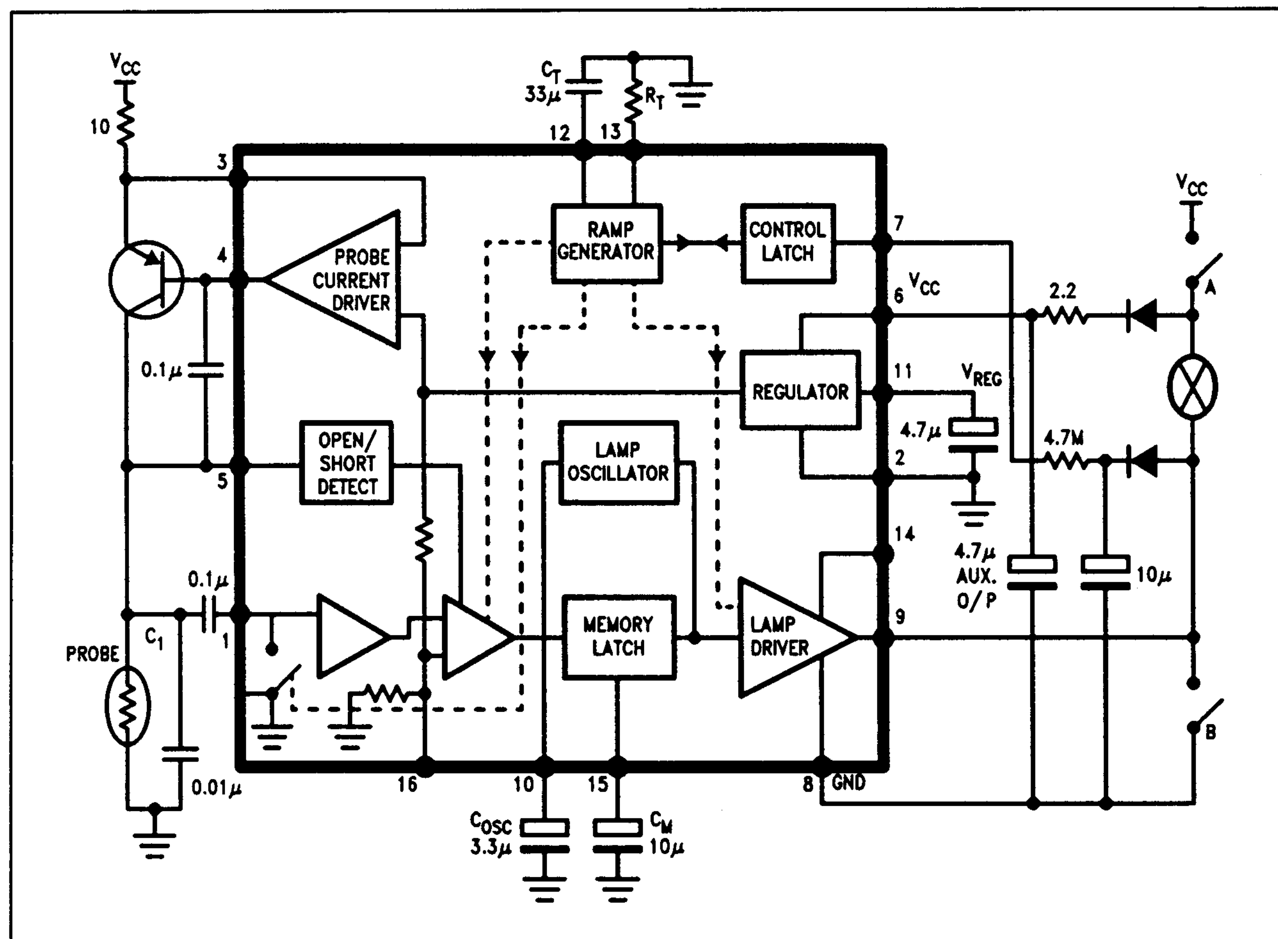
De LM 903 van NatSemi

Een typisch IC, dat volgens het thermische principe werkt, is de LM 903 van NatSemi. De schakeling levert een digitale uitgang, waarmee een alarm kan worden aangestuurd.

Het intern blokschema en de manier waarop de probe wordt aangestuurd zijn getekend in figuur 6/6.18.4-14.

De probe wordt gestuurd met een constante stroom, die wordt opgewekt door een externe transistor, die als stroombron geschakeld is. De stroom wordt bepaald door de waarde van de emitterweerstand, in dit geval 10 Ω. De stroom door de probe vloeit niet continu, maar pulserend. Deze timing wordt bestuurd vanuit een zaagtandgenerator "RAMP". Iedere cyclus duurt ongeveer 1,5 s. Na ongeveer 35 ms wordt de spanning over de probe gemeten. Deze spanning wordt opgeslagen in de condensator C1 via een eenvoudige sample and hold. Na 1,5 s wordt de spanning over de probe opnieuw gemeten. Het verschil tussen beide meetspanningen wordt versterkt en vergeleken met een referentiespanning. Het resultaat van deze vergelijking stuurt via een logische schakeling de alarm-uitgang.

6.18.4 Vochtsensoren

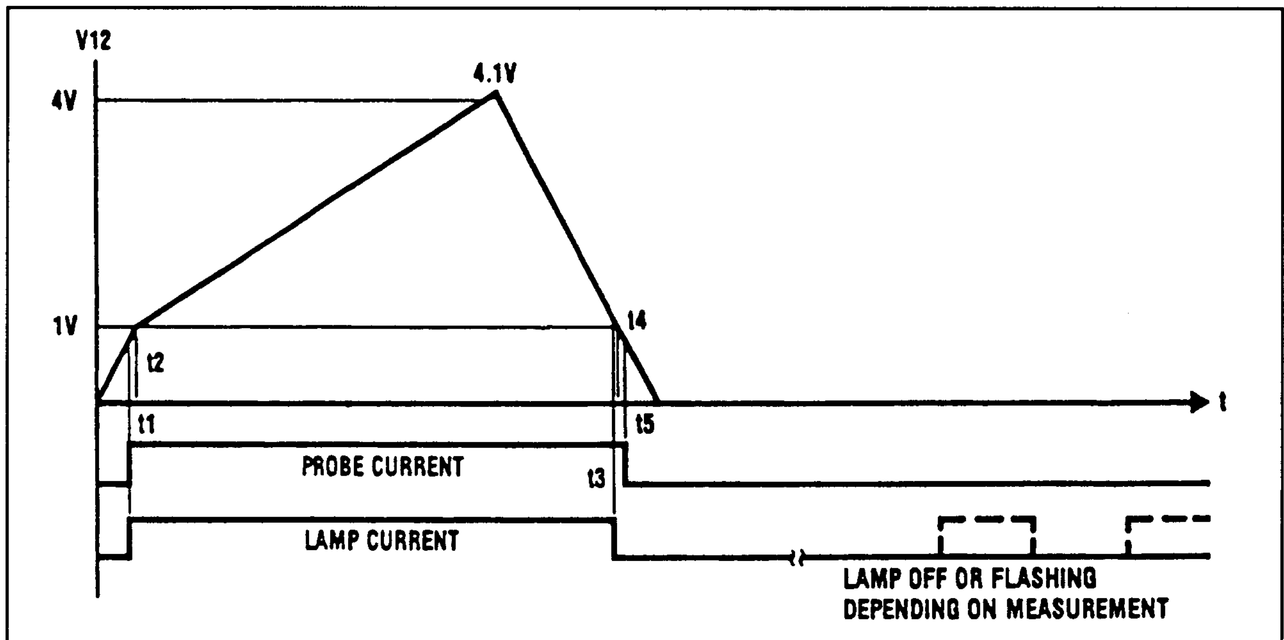


Figuur 6/6.18.4-14: Het intern blokschema van de LM 903 van NatSemi.

De gedetailleerde werking van de LM 903 wordt beschreven aan de hand van het timing-diagram van figuur 6/6.18.4-15. Een meetcyclus wordt ingezet door het inschakelen van de voedingsspanning en door een laag signaal op de controle-pen 7. Dit laag signaal ontstaat door deze ingang via de drukknop B aan de massa te leggen. De condensator die verbonden is met pen 12 wordt opgeladen. Na ongeveer 25 ms wordt de uitgang op pen 4 gestuurd. Deze uitgang zorgt, in samenwerking met de externe stroombron, voor het vloeien van de constante stroom door de probe. Op hetzelfde moment wordt de alarm-uitgang gestuurd zodat de op deze uitgang aangesloten lamp gaat branden.

Op tijdstip t2, ongeveer 10 ms later, wordt de probe-spanning voor het eerst gemeten. Deze spanning wordt opgeslagen in een externe condensator, verbonden met pen 1. Anderhalve seconde later op tijdstip t3 wordt de spanning over de probe opnieuw gemeten en deze spanning wordt vergeleken met de eerste meetwaarde. Het spanningsverschil wordt drie maal versterkt en vergeleken met een interne drempel van 850 mV. Deze drempel is aan te passen via de stuuringang op pen 16. Als het versterkte spanningsverschil kleiner is dan deze drempel wordt de lamp uitgeschakeld. In het andere geval wordt de lamp intermitterend gestuurd met een frequentie van ongeveer 1,5 Hz.

6.18.4 Vochtsensoren



Figuur 6/6.18.4-15: Het timing-diagram van de werking van de LM 903.

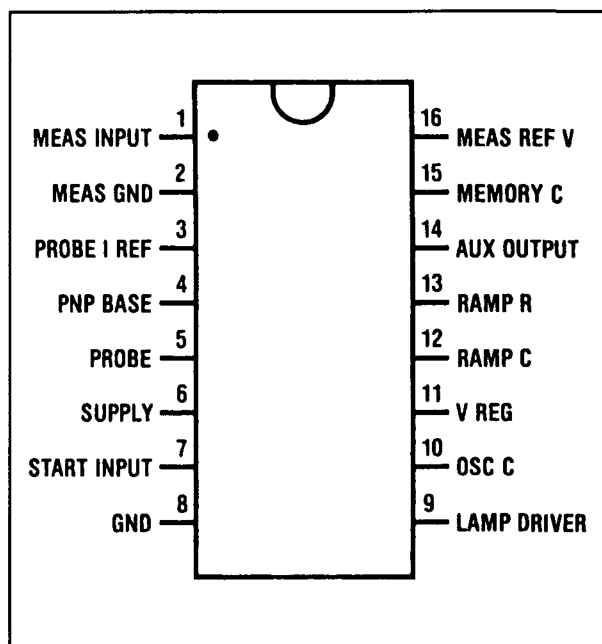
De lampbesturing wordt opgeslagen in een latch. Ongeveer 18 ms later (tijdstip t5) wordt de stroom door de probe uitgeschakeld en is de meetcyclus afgelopen.
Een nieuwe meetcyclus kan alleen gestart worden door het uit- en weer inschakelen van de voedingsspanning. Een extern RC-netwerkje, verbonden met pen 7, kan er voor zorgen dat een tweede meetcyclus eerst na ongeveer één minuut start. Deze maatregel is noodzakelijk, omdat het een voorwaarde van het principe is dat de probe weer tot de rusttemperatuur afkoelt alvorens er opnieuw gemeten wordt.
De wikkeldraad van de probe moet een grote positieve temperatuurscoëfficiënt hebben. Aanbevolen wordt gebruik te maken van nikkel/cobalt-legeringen met een soortelijke weerstand van 50 μΩ/cm en een temperatuurscoëfficiënt van minimaal 3.300 ppm/°C. De spanning over de probe moet groter zijn dan 0,7 V en kleiner dan 5 V om de open- en short-circuit schakelingen niet te activeren. De stroom door de probe moet zo ingesteld worden dat het spanningsverschil tussen de eerste en de tweede meting in de vrije lucht ongeveer 500 mV bedraagt. In de vloeistof moet dit verschil gereduceerd worden tot ongeveer 100 mV. Om dit grote verschil te realiseren moet men de probe zo ontwerpen, dat een goede afkoeling van de draad gegarandeerd wordt. Vandaar dat de draad van de probe zeer ruimtelijk op een raam gewikkeld moet worden (zie figuur 6/6.18.4-13), zodat de vloeistof de draad zo goed mogelijk kan koelen.
De LM 903, waarvan de aansluitgegevens getekend zijn in figuur 6/6.18.4-16, kan worden gevoed uit een spanning van +7 V tot +18 V en verbruikt ongeveer 50 mA. De interne referentie levert een gestabiliseerde spanning van ongeveer 5,8 V af op pen 11. Deze spanning moet via een externe condensator ontkoppeld worden. De uitgangstrap kan een continue stroom van 250 mA sinken via pen 9. Bij intermitterend bedrijf kan men deze uitgang zelfs met 600 mA belasten. De knipperfrequentie van de uitgang is ingesteld op 1,5 Hz.

6.18.4 Vochtsensoren

De schakeling levert nog een tweede uitgang op pen 14, die TTL-compatible is.
In de voorbeeld-schakeling van figuur 6/6.18.4-14 wordt de LM 903 toegepast als bewaker van het oliepeil in een automotor. De meting wordt uitgevoerd op het moment dat het contact via schakelaar A wordt gesloten. Schakelaar B is de oliedrukschakelaar. Deze wordt gesloten voordat de motor start en zet pen 7 op LAAG. De 4,7 MΩ weerstand en de condensator van 10 µF, verbonden met pen 7, verhinderen een tweede meting. Nadat de oliedruk tot de normale waarde gestegen is opent schakelaar B en de condensator wordt via de alarm-lamp opgeladen. Na het uitschakelen van de motor zal de condensator langzaam ontladen, waardoor een tweede meting voor ongeveer één minuut wordt uitgesloten. De resultaten van de eerste meting worden echter wél opgeslagen in de condensator die met pen 15 verbonden is. Is het resultaat van de meting goed, dan wordt deze pen HOOG. Deze hoge spanning wordt opgeslagen in de condensator en vanwege de lage lekstroom van pen 15 blijft de spanning voor minstens één minuut boven de interne drempel van 3 V.
Een weerstand van maximaal 150 kΩ tussen de pennen 10 en 11 zorgt ervoor dat de lamp-oscillator wordt uitgeschakeld, waardoor de lamp continu gaat branden.

De LM 1042 van NatSemi

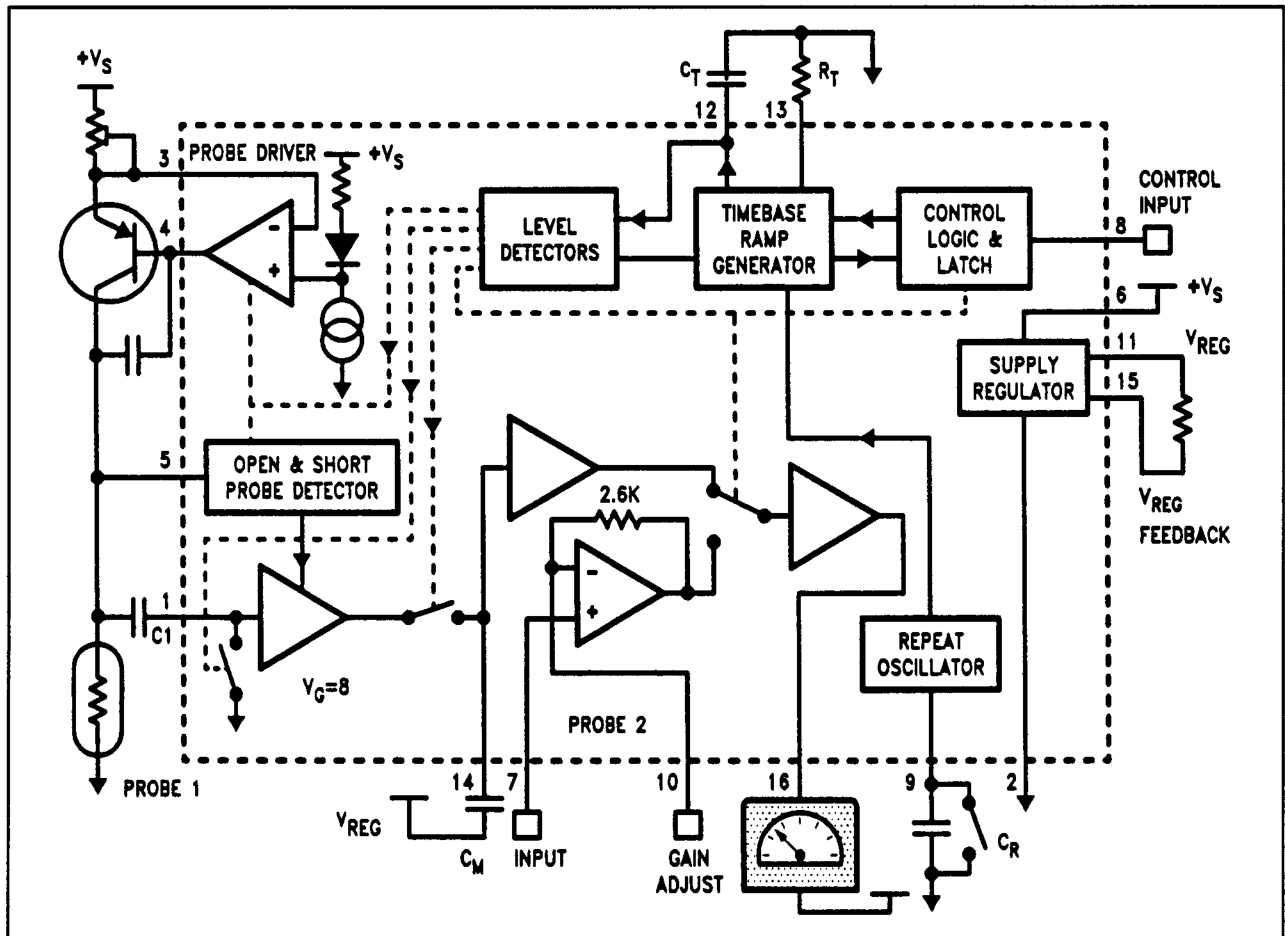
De LM 1042 meet op een ***analoge manier*** het niveau van vloeistoffen door middel van een thermische probe, die in de vloeistof wordt ondergedompeld. De schakeling wekt een ***analoge uitgangsspanning*** op, die proportioneel is met het niveau van de vloeistof. Met dit IC kan men dus vrij nauwkeurig op een volledig elektronische manier meten hoeveel vloeistof er in een bepaald vat aanwezig is. De schakeling kan zowel eenmalig meten als repeterend. De schakeling bevat beveiligingsschakelingen tegen een open verbinding in de probe-leiding en tegen kortgesloten probes. Het IC heeft een tweede meetingang, waarop een tweede sensor kan worden aangesloten.



Figuur 6/6.18.4-16: De aansluitgegevens van de LM 903.

De werking van de LM 1042 wordt beschreven aan de hand van het intern blokschema van figuur 6/6.18.4-17.
De ingangsversterker voor de probe is verbonden met pen 1. Deze heeft een maximale lekstroom van 5 nA. Deze ingang wordt door een interne elektronische schakelaar op massa-potentiaal geclampt vóór de start van een meting. Pen 3 wordt verbonden met de emitter van een externe PNP-transistor en zorgt voor een constante probe-stroom van maximaal 200 mA.

6.18.4 Vochtsensoren



Figuur 6/6.18.4-17: Het intern blokschema van de LM 1042.

Door een interne referentie wordt de spanning op deze uitgang geclampt op een spanning die 2 V lager is dan de voedingsspanning. De basis van de externe transistor wordt verbonden met pen 4. Pen 5 wordt verbonden met de probe en detecteert open- en short-circuit omstandigheden. De tweede probe kan worden aangesloten op pen 7. Deze ingang (PROBE2) heeft een impedantie van 5 MΩ. Pen 10 bepaalt, door middel van een weerstand naar de massa, de versterking van de hulpingang op pen 7 tussen 1,2x en 3,4x. Met het signaal op pen 8 wordt geselecteerd via welke probe gemeten wordt. Een LAAG op deze pen selecteert de eigenlijke meetprobe (1) en start de timing van de meetcyclus. Gedurende de meetcyclus wordt deze pen op LAAG gehouden. Een HOOG op deze pen selecteert de hulpingang (pen 7), maar dit kan alleen na afloop van een meetcyclus.

Op pen 9 wordt een condensator aangesloten, die de herhalingsfrequentie van de repeterende metingen bepaalt. De condensator wordt opgeladen met 2 µA naar een drempel van 4,3 V. Nadien start een tweede meetcyclus. Dwingt men deze ingang naar LAAG, dan wordt de oscillator uitgeschakeld en zal de schakeling één meting uitvoeren na het LAAG worden van pen 8.

Pen 11 is de uitgang van de interne referentiespanning van 5,9 V typisch. Pen 15

is de terugkoppel-ingang voor de interne referentie op pen 11. Via een weerstand tussen deze pen en pen 11 kan men de waarde van de interne referentiespanning instellen.

De pennen 12 en 13 zijn bedoeld voor de timing van de schakeling. Tussen de massa en pen 12 komt een condensator, de weerstand tussen de massa en pen 13 bepaalt de ontlaadstroom van de condensator op pen 12.

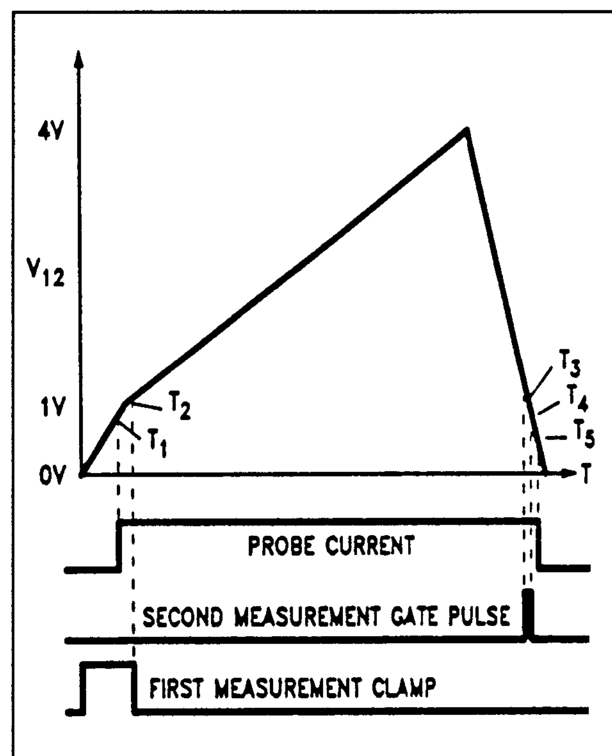
De condensator tussen pen 14 en de interne referentie op pen 11 wordt gebruikt voor het opslaan van de meetresultaten tussen twee meetcycli. Deze pen heeft een interne lekstroom van slechts 2 nA, zodat men er zeker van is dat de lading weinig kans heeft om weg te lekken. Het zal wel duidelijk zijn dat men voor deze condensator een type met een zeer geringe eigen lekstroom moet toepassen.

De lineaire uitgangsspanning van PROBE1 of PROBE2 staat op pen 16 ter beschikking met een stroomcapaciteit van +/-10 mA. Men kan dus rechtstreeks een draaispoelinstrument op deze uitgang aansluiten.

De preciese afloop van een meetcyclus van de LM 1042 wordt beschreven aan de hand van het timing-diagram van figuur 6/6.18.4-18. Een meetcyclus wordt ingezet door een laag signaal op de controlepen 8. De condensator die verbonden is met pen 12 wordt opgeladen. Als de condensatorspanning gestegen is tot 0,7 V (tijdstip t1) wordt de uitgang op pen 4 gestuurd. De constante stroom van 200 mA gaat door de probe vloeien. Op hetzelfde moment wordt de "probefailure"-ingang op pen 5 geactiveerd. Als de condensator op pen 12 is opgeladen tot 1,0 V (tijdstip t2) wordt de probespanning voor het eerst gemeten. Deze spanning wordt opgeslagen in een externe condensator, verbonden met pen 1. De stroom waarmee de condensator op pen 12 oplaadt wordt nu gereduceerd.

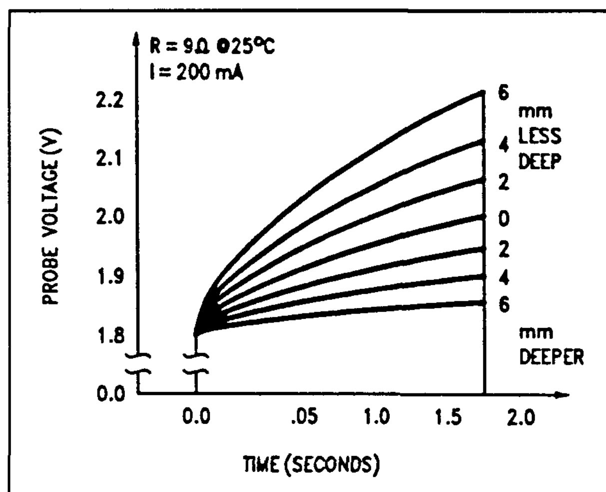
Als de spanning over dit onderdeel gestegen is tot 4,1 V wordt de condensator weer ontladen. De meetspanning wordt via een interne schakelaar doorgekoppeld naar de condensator die met pen 14 verbonden is. Op tijdstip t5, de condensator is dan weer tot 0,7 V ontladen, wordt de meetcyclus afgesloten. De spanning over de condensator op pen 14 wordt versterkt en nadien via pen 16 aan de analoge uitgang aangeboden.

Repeterende metingen ontstaan door een condensator aan te sluiten tussen pen 9 en de massa. Een meting start als de spanning over deze condensator gestegen is tot 4,3 V.

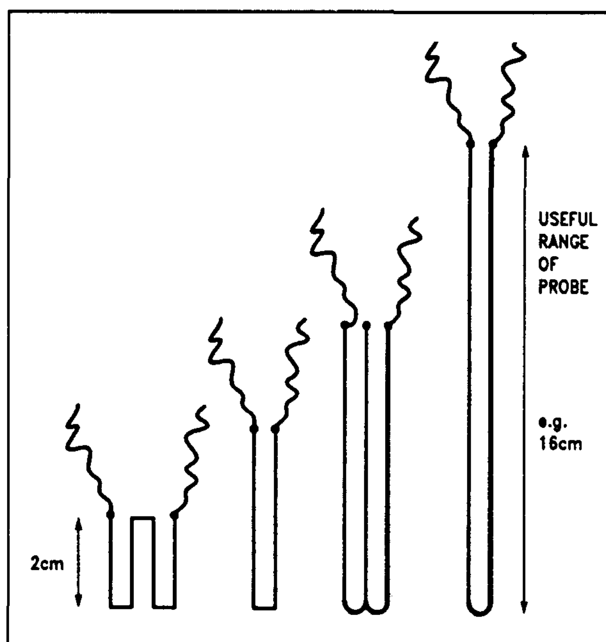


Figuur 6/6.18.4-18: Het timing-diagram van één meetcyclus van de LM 1042.

6.18.4 Vochtsensoren



Figuur 6/6.18.4-19: De noodzakelijke spanningskarakteristiek in functie van de tijd en de mate van onderdompeling van de aanbevolen probe.

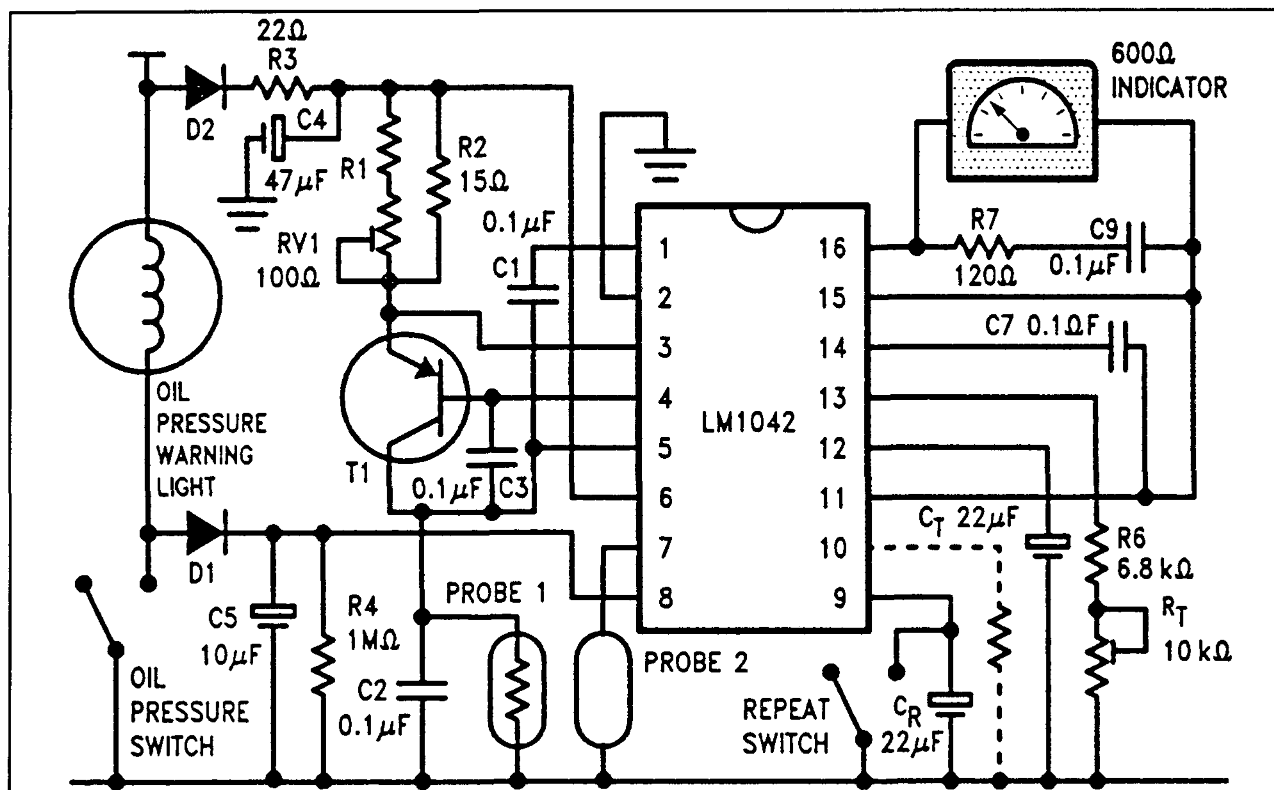


Figuur 6/6.18.4-20: Aanbevolen konstrukties van de thermische probe voor maximale lineariteit van de meting.

Aan de probe worden nogal wat eisen gesteld. In figuur 6/6.18.4-19 is getekend hoe de spanning over de probe moet verlopen in functie van de meettijd en van de mate van onderdompeling in de vloeistof. De draad waaruit de probe wordt samengesteld moet een grote positieve temperatuurscoëfficiënt hebben. Aanbevolen wordt gebruik te maken van nikkel/cobalt-draad met een soortelijke weerstand van 50 μΩ/cm en een temperatuurscoëfficiënt van minimaal 3.300 ppm/°C. Een aanbevolen probe-konstruktie bestaat uit 4 x 2 cm van deze draad met een diameter van 0,08 mm. Een dergelijke probe benadert de spanningskarakteristiek van figuur 6/6.18.4-19 in bruikbare mate. In figuur 6/6.18.4-20 zijn een aantal mogelijke konstrukties van de probe geschetst. De draad is vrij gewikkeld op een raam, zodat de vloeistof de draad zo goed mogelijk kan koelen.

In figuur 6/6.18.4-21 wordt de LM 1042 toegepast als lineaire meter van het oliepeil in een automotor. Bij het inschakelen van de contactschakelaar wordt de oliedrukschakelaar gesloten en wordt ingang 8 LAAG gehouden via de weerstand R4. De meting van het oliepeil wordt uitgevoerd met PROBE1. Men wacht nu even tot de analoge draaispoelmeter op pen 16 een stabiele waarde aangeeft. Men kan dan het oliepeil aflezen en nadien de motor starten. Na het starten van de motor zal de oliedrukschakelaar openen, waardoor de spanning op pen 8 HOOG wordt gestuurd. De schakeling schakelt nu om naar PROBE2, waardoor men met een en dezelfde schakeling het niveau van een tweede vloeistof kan meten, bijvoorbeeld het peil in het tankje met remvloeistof. Het heeft immers geen zin het oliepeil in het motorblok te meten als de motor draait. De olie wordt dan heet en is bovendien in hevige beweging, waardoor het principe van de thermische meting per definitie niet meer kan worden toegepast.

6.18.4 Vochtsensoren



Figuur 6/6.18.4-21: De LM 1042 wordt in dit voorbeeld gebruikt voor het ***analoog meten*** van het olieniveau in het motorblok.

De LM 1042 kan gevoed worden uit een spanning tussen +7 V en +18 V en verbruikt ongeveer 35 mA. De interne referentiespanning die via pen 11 beschikbaar is heeft een waarde van 5,9 V en heeft een stabiliteit van +/-0,5 %. De spanning op pen 3 wordt door de schakeling ingesteld op 2,35 V onder de waarde van de voedingsspanning. Hieruit kan men de waarde van de emitterweerstand van de stroombron transistor berekenen.

Het capacitieve principe

Inleiding

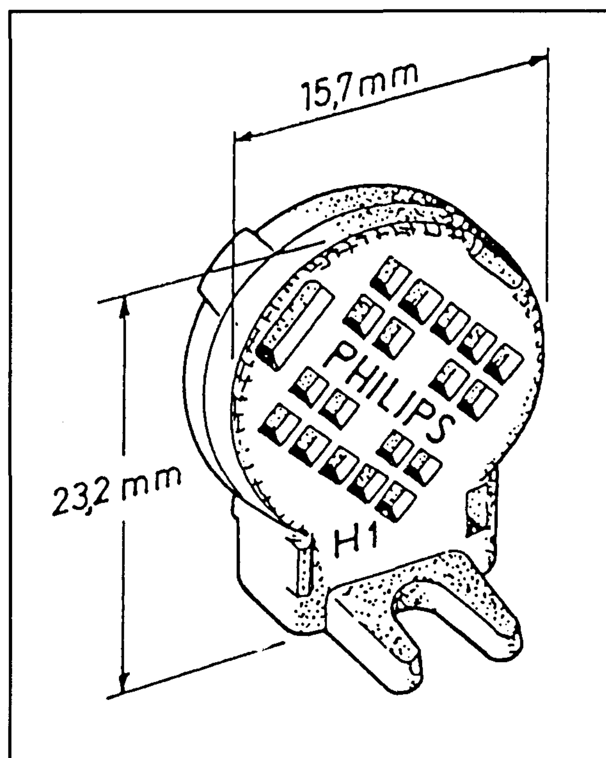
Met het capacitieve principe kan men geen kelders droog houden of oliepeilen meten, maar niets meer of minder dan de vochtigheid van de lucht meten. Hiervoor heeft men een capacitieve vochtsensor nodig, in feite niets meer dan een condensator waarvan de waarde afhankelijk is van de vochtigheidsgraad van de lucht.

De capaciteit van de sensor wordt omgezet in een pulsbreedte en vergeleken met de pulsbreedte van een referentie-oscillator. Het verschil in pulsbreedte wordt nadien omgezet in een spanning, waarmee men een analoge of digitale meter kan sturen.

De sensor H-1 van Philips

Philips is de enige fabrikant die een goedkope elektronische vochtigheidssensor met type-codering H-1 op de markt brengt. In de behuizing van figuur 6/6.18.4-22 zit een condensator ten grootte van een kwartje.

6.18.4 Vochtsensoren

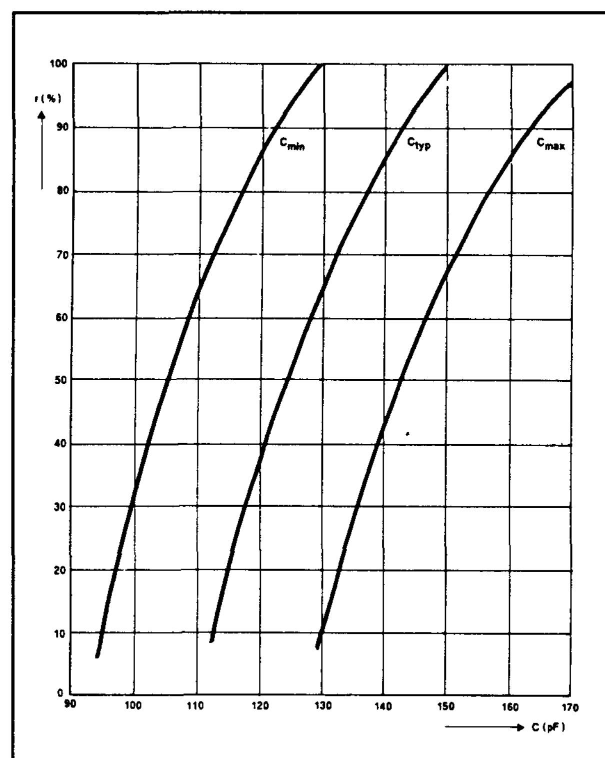


Figuur 6/6.18.4-22: De vochtsensor H-1 van Philips.

Deze is opgebouwd uit twee gouden elektroden die opgedampt zijn aan weerszijden van een dunne hygroscopische kunststof folie. Deze folie vormt het diëlectricum van de condensator. Dit materiaal zal, vanwege de hygroscopische eigenschappen, de vochtigheid van de lucht in zich opnemen. Vandaar dat de behuizing aan weerszijden van een groot aantal kleine gaatjes is voorzien, zodat de lucht zich gemakkelijk een weg kan banen rond de condensator. De waarde van de capaciteit van de condensator is afhankelijk van de grootte van de elektroden, de afstand tussen de beide elektroden en de diëlectrische constante van het diëlectricum. Onder invloed van de luchtvochtigheid wijzigt niet alleen de diëlectrische constante van de folie maar ook de dikte ervan, zodat de capaciteit van de condensator afhankelijk wordt van de vochtigheid van de lucht. De capaciteit van de condensator bedraagt ongeveer 120 pF en verandert met ongeveer 45 pF over het volledige theoretische bereik van 0 tot 100 % relatieve luchtvochtigheid.

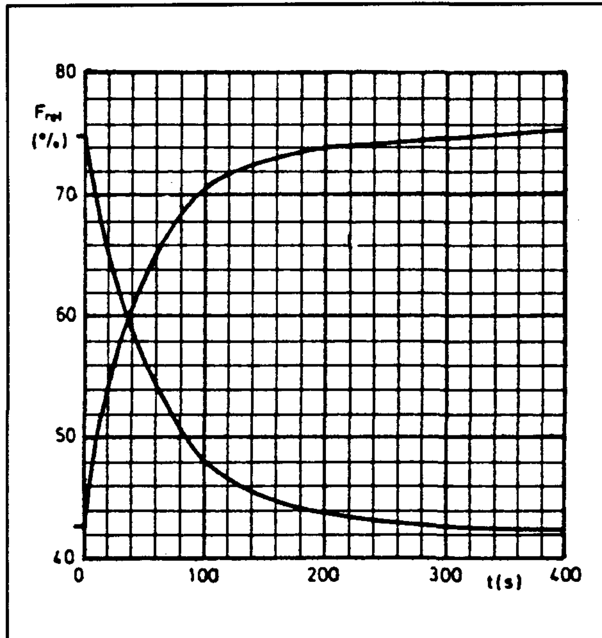
Zoals uit de grafiek van figuur 6/6.18.4-23 volgt is de relatie tussen de capaciteit van de sensor en de luchtvochtigheid niet lineair en zit er bovendien erg veel typegebonden spreiding op. Onder normale omstandigheden meet men echter tussen 30 % en de 70 %, een gebied waarin de sensor tamelijk lineair werkt. Door de grote spreiding moet men de sensor echter in ieder geval ijken, een klus die nogal omslachtig is.

In de praktijk wordt de sensor opgenomen in een oscillator-schakeling.

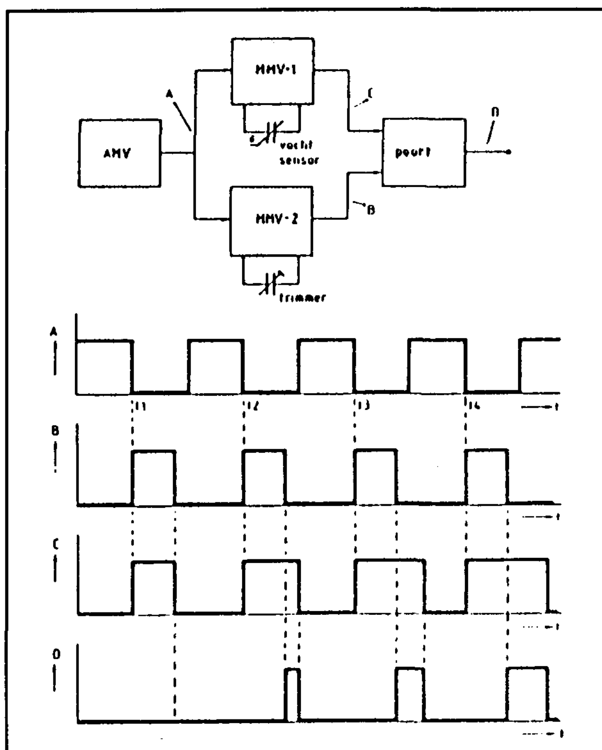


Figuur 6/6.18.4-23: Het verband tussen de relatieve vochtigheid van de lucht en de capaciteit van de H-1.

6.18.4 Vochtsensoren



Figuur 6/6.18.4-24: De reactietijd van de H-1 op verandering van de relatieve vochtigheidsgraad.



Figuur 6/6.18.4-25: Het blokschema van een vochtigheidsmeter rond de H-1 van Philips.

De H-1 kan gebruikt worden tussen 1 kHz en 1 MHz, waarbij er maximaal 15 V over het onderdeel mag staan. De gevoeligheid van de sensor bedraagt ongeveer 0,4 pF per % relatieve vochtigheid. Uit de aard van het werkingsprincipe reageert de H-1 zeer traag op schommelingen in de vochtigheidsgraad. Uit de grafiek van figuur 6/6.18.4-24 volgt dat het ongeveer 3 minuten duurt alvorens de sensor zich heeft aangepast aan een vochtigheidsstijging van 10 % naar 43 % en vijf minuten aan een stijging van 43 % naar 90 %.

Principe van de meting

Het grote probleem bij het ontwerpen van een elektronische schakeling rond de sensor van Philips is hoe de relatief kleine capaciteitswijziging tussen 115 en 135 pF kan omgezet worden in een gelijkspanning waarmee men een analoge of digitale indicatie kan aansturen. In de meeste schakelingen wordt gebruik gemaakt van het principe dat in figuur 6/6.18.4-25 is getekend.

Twee volledig identieke monostabiele multivibratoren MMV-1 en MMV-2 worden getriggerd door een astabiele multivibrator AMV. Bij MMV-1 wordt de pulsbreedte bepaald door de vochtsensor, bij MMV-2 door een condensatortrimmer. Bij iedere triggerpuls A van de AMV leveren de twee monostabiele multivibratoren een uitgangspuls B respectievelijk C af. De breedte van deze pulsen is afhankelijk van de waarde van de condensatoren. Beide uitgangspulsen worden met elkaar vergeleken in een poort.

Deze schakeling levert geen uitgangspuls als de twee MMV-pulsen even breed zijn. Zijn deze echter niet even breed, dan zal de poort een puls D afleveren, waarvan de breedte gelijk is aan het breedteverschil tussen de twee MMV-pulsen B en C. De

6.18.4 Vochtsensoren

breedte van de uitgangspulsen D is dus een maat voor de gemeten luchtvochtigheid. De breedte van deze pulsen kan nu door middel van een eenvoudige integrator omgezet worden in een gelijkspanning, waarmee een analoge of digitale uitlezing te sturen is. De schakeling kan afgeregeld worden door de trimmer te verdraaien. Daardoor wordt immers de breedte van de B-pulsen aangepast en dus ook het breedteverschil tussen beide pulsen.

Het ijken van de sensor H-1

Zoals reeds geschreven vertonen de H-1 sensoren van Philips grote onderlinge spreidingen. Het is dus absoluut noodzakelijk een schakeling die rond een dergelijke sensor ontworpen is te ijken. Nu is dat niet zo eenvoudig, want waar haalt men een referentie vandaan? De ouderwetse mechanische analoge hygrometers die werken met de uitzetting of inkrimping van een paardehaar zijn zeer onnauwkeurig en kunnen gemakkelijk een fout van meer dan 20 % vertonen.
De enige echt goede methode om een elektronische vochtigheidsmeter te ijken is gebruik te maken van de zogenoemde "fysische afregeling", die gebruik maakt van enige natuurkundige wetmatigheden. Maar om deze wetmatigheden te begrijpen moet men eerst het begrip "relatieve vochtigheid" fysisch definiëren. Uit het feit dat deze grootheid in procenten wordt uitgedrukt kan men afleiden dat deze grootheid een verhouding aangeeft. De ene vochtigheid wordt met de andere vergeleken, het product wordt in procenten uitgedrukt. De relatieve vochtigheid $H_{\%}$ wordt gedefinieerd als de verhouding tussen de absolute vochtigheid H_{abs} en de verzadigingsvochtigheid H_{verz} van een hoeveelheid lucht. De absolute vochtigheid is de hoeveelheid water, uitgedrukt in kg, die in een kubieke meter lucht aanwezig is:

H_{abs} = hoeveelheid water/luchtvolume (kg/m^3)

De verzadigingsvochtigheid drukt de maximale hoeveelheid water uit die in een kubieke meter lucht aanwezig kan zijn en wordt dus eveneens uitgedrukt in kg/m^3. Deze grootheid is afhankelijk van de temperatuur en de druk van de lucht. De relatieve vochtigheid wordt dus berekend door de absolute vochtigheid te delen door de verzadigingsvochtigheid:

$H_{\%} = H_{abs}/H_{verz}$

De fysische afregeling gaat nu uit van het gegeven dat de lucht die zich in een afgesloten ruimte boven een verzadigde oplossing van een chemisch zout bevindt een bepaalde alleen van de temperatuur afhankelijke relatieve vochtigheid heeft. Uiteraard is de relatieve vochtigheid ook afhankelijk van de chemische samenstelling van het zout. In de tabel van figuur 6/6.18.4-26 is een overzicht gegeven van enige niet al te moeilijk verkrijgbare chemische zouten, hun chemische samenstelling en de relatieve vochtigheid die zij bij verschillende temperaturen opwekken in de lucht boven een verzadigde oplossing. Het enige zout dat iedereen heeft in natriumchloride NaCl, de chemische naam voor keukenzout. De overige chemicaliën kunnen bij drogist of apotheker betrokken worden. Vervolgens moet men een verzadigde oplossing van een dergelijk zout maken. Men koopt bij de drogist een fles gedestilleerd water, zuiver water waar alle verontreinigingen uit verwijderd zijn. Als dit water op kamertemperatuur is lost men er zoveel van het zout in op tot er op de bodem een laagje onopgelost zout blijft liggen. Tijdens dit proces moet men goed in de vloeistof roeren!

6.18.4 Vochtsensoren

ZOUT MET FORMULE		TEMPERATUUR									
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
		RELATIEVE VOCHTIGHEID IN PROCENT									
Kaliumsulfaat	K_2SO_4	98	98	97	97	97	96	96	96	96	96
Kaliumnitraat	KNO_3	96	95	94	93	92	91	89	88	85	82
Kaliumchloride	KCl	88	88	87	86	85	85	84	82	81	80
Ammoniumsulfaat	$(NH_4)_2SO_4$	82	82	81	81	80	80	80	79	79	78
Natriumchloride	$NaCl$	76	76	76	76	75	75	75	75	75	75
Natriumnitriet	$NaNO_2$	–	–	–	65	65	63	62	62	59	59
Ammoniumnitraat	NH_4NO_3	–	73	69	65	62	59	55	53	47	42
Natriumbichromaat	$Na_2Cr_2O_7$	59	58	56	55	54	52	51	50	47	–
Magnesiumnitraat	$Mg(NO_3)_2$	58	57	56	55	53	52	50	49	46	–
Kaliumkarbonaat	K_2CO_3	–	47	44	44	43	43	43	42	–	–
Magnesiumchloride	$MgCl_2$	34	34	34	33	33	33	32	32	31	30
Kaliumacetaat	CH_3COOK	–	21	21	22	22	22	21	20	–	–
Lithiumchloride	$LiCl$	14	14	13	12	12	12	12	11	11	11

Figuur 6/6.18.4-26: Chemische zouten met de relatieve vochtigheid die zij in de lucht boven een verzadigde oplossing opwekken.

Als de vloeistof weer in rust is moet er op de bodem van de fles een laagje zout zichtbaar zijn.
Vervolgens zoekt men een grote glazen pot, die men kan afsluiten met een metalen deksel. Op de bodem van deze pot wordt een flinke hoeveelheid in de verzadigde oplossing gedompelde watten gelegd. Boven deze watten moet men een soort platformpje maken, bijvoorbeeld door een stukje geperforeerde aluminium plaat U-vormig te verbuigen. Op dit plateau kan men dan de schakeling, waarin de vochtsensor H-1 aanwezig is, elektrisch geïsoleerd opstellen. De voeding wordt door middel van een zo dun mogelijk kabeltje via het metalen deksel naar buiten gevoerd.
Tot slot wordt het deksel op de glazen pot gezet en wel zo dat er absoluut geen lucht van buiten naar binnen kan doordringen. Men moet nu de pot om de vijf minuten even schudden om de luchtcirculatie te bevorderen en de lucht te verzadigen. Na ongeveer een uur kan men aannemen dat de relatieve vochtigheid van de lucht in de pot de waarde die in de tabel gegeven is heeft aangenomen. Meet hierbij de omgevingstemperatuur met een nauwkeurige digitale temperatuurmeter! Men vergelijkt nu de indicatie van de elektronische schakeling met de tabelwaarde. Men haalt het deksel van de pot en verdraait de ijkingcondensator of -potentiometer met een ***niet-metalen*** schroevendraaier tot de op de schakeling aangesloten meter de tabelwaarde aangeeft. Werkt men met keukenzout, dan moet men de schakeling dus afregelen op een aangeduide waarde van 76,0 % bij 20 °C.
Maar door het openen van de pot en het afregelen van de schakeling zal de verzadigde lucht in de pot zich uiteraard gemengd hebben met de buitenlucht. Vandaar dat men na deze eerste afregeling de pot weer luchtdicht moet afsluiten en de gehele procedure herhalen. Dit moet zo lang doorgaan totdat de meter in de afge-

6.18.4 Vochtsensoren

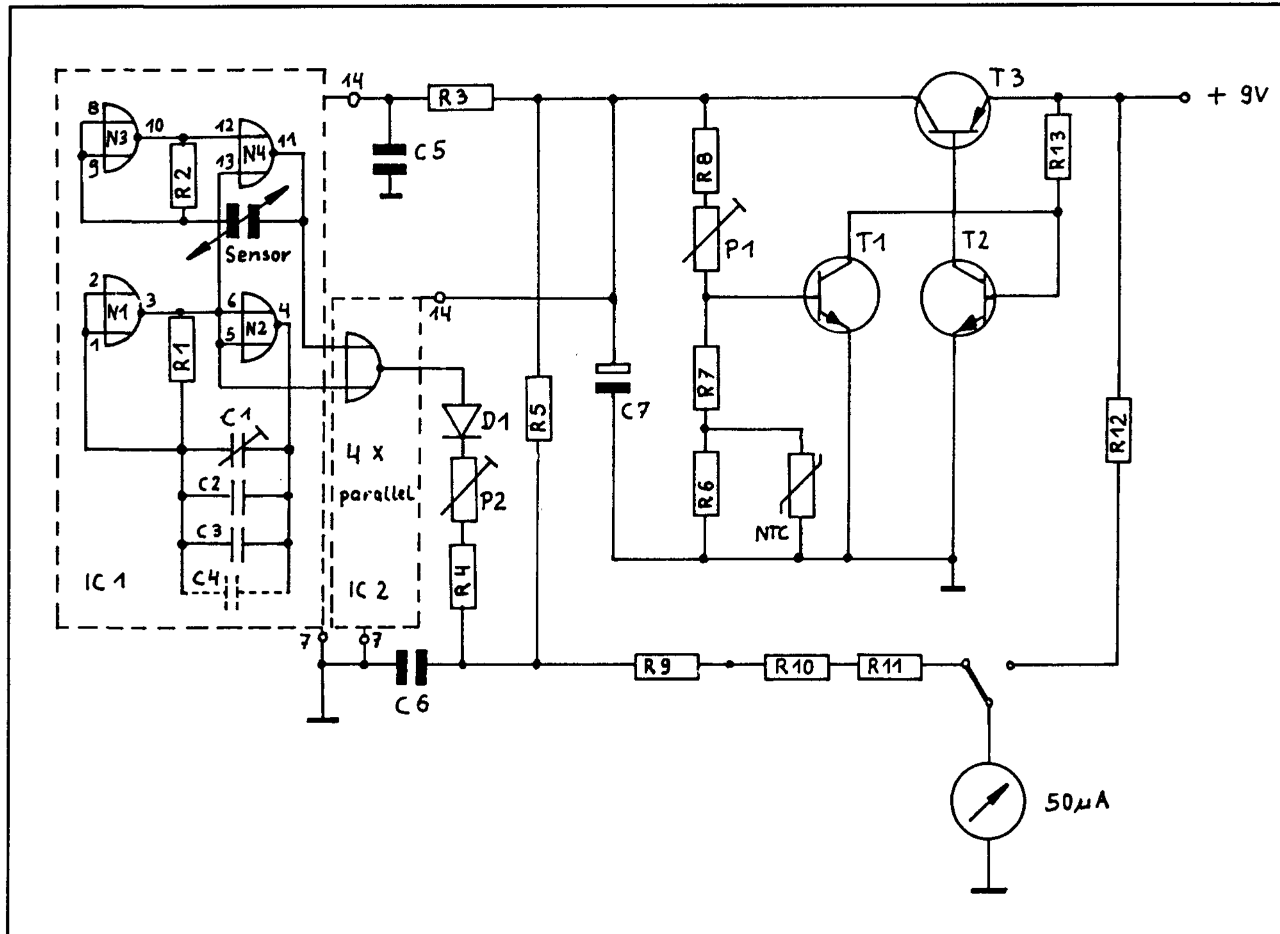
sloten pot een constante uitlezing van (in het voorbeeld met keukenzout) 76,0 % aanduidt.
Het afregelen met keukenzout heeft echter als nadeel dat het ijkingspunt van 76 % nogal buiten het normale meetbereik van een hygrometer valt. Het beste kan men dus afregelen met natriumbichromaat dat een ijkingspunt van 55 % oplevert. Wie héél veel vrije tijd ter beschikking heeft kan natuurlijk ook met twee verschillende zouten twee ver uit elkaar gelegen ijkpunten afregelen, bijvoorbeeld 33 % en 85 %. Denk er echter wél aan dat niet alle in de tabel genoemde chemische stoffen even ongevaarlijk zijn als keukenzout!

Eenvoudige analoge hygrometer
In figuur 6/6.18.4-27 is het schema getekend van een zeer eenvoudige analoge hygrometer met een meetbereik van 25 % tot 75 %. De H-1 sensor is opgenomen als frequentiebepalend element in een eenvoudige astabiele multivibrator rond twee poorten van IC1. De twee overige poorten van dit IC vormen een identieke schakeling, waarvan de frequentie bepaald wordt door de condensatoren C1 tot en met C4. De uitgangssignalen van de twee AMV's worden vergeleken door ze aan de ingangen van een NAND-poort aan te leggen. Hiervoor worden de vier poorten uit IC2 parallel geschakeld. De breedte van de uitgangspulsen is een maat voor de relatieve vochtigheid. De schakeling rond de transistoren T1 tot en met T3 vormt een temperatuurscompensatie. De temperatuur wordt gemeten met de NTC. De transistoren passen de voedingsspanning van de twee IC's aan de temperatuur aan, zodat ook de grootte van de uitgangsspanning van poort 2 rekening houdt met de temperatuur. Het pulsvormige signaal wordt gelijkgericht met de diode D1 en geïntegreerd door het netwerkje P2, R4 en C6. De gelijkspanning over de condensator wordt gemeten op de analoge draaispoelmeter van 50 μA. Met behulp van de omschakelaar kan men de batterijspanning controleren.

In figuur 6/6.18.4-28 is de onderdelenlijst van de schakeling gegeven. Met de potentiometer P1 wordt de spanning op de collector van transistor T3 afgeregeld op 4,2 V. Nadien wordt de sensor vervangen door een condensator met een nauwkeurige waarde van 118 pF. Deze moet men echt meten met een digitale meter! Met C1 wordt de analoge meter afgeregeld op minimale meteruitslag. Lukt dit niet, dan kan men de gestippeld getekende condensator C4 extra parallel schakelen. Nadien vervangt men de condensator door een soortgenoot met een al even nauwkeurig gemeten waarde van 159 pF.
Met P2 regelt men de meter af op volle schaal. Nadien wordt de sensor weer ingesoldeerd en kan de schakeling op de beschreven fysische manier geijkt worden. Het ijken doet men door het verdraaien van de trimmer C1.

Schakeling voor het sturen van een LED-schaal
In figuur 6/6.18.4-29 is een schakeling getekend die volgens hetzelfde principe werkt, maar waar iets meer zorg is besteed aan de elektronica. Bovendien kan men met deze schakeling een LED-schaal sturen en heeft men de mogelijkheid de onderste en bovenste grens van het meetbereik in te stellen.
De eerste timer IC1 van het type 555 is geschakeld als astabiele multivibrator, die een frequentie van ongeveer 7 kHz genereert.

6.18.4 Vochtsensoren



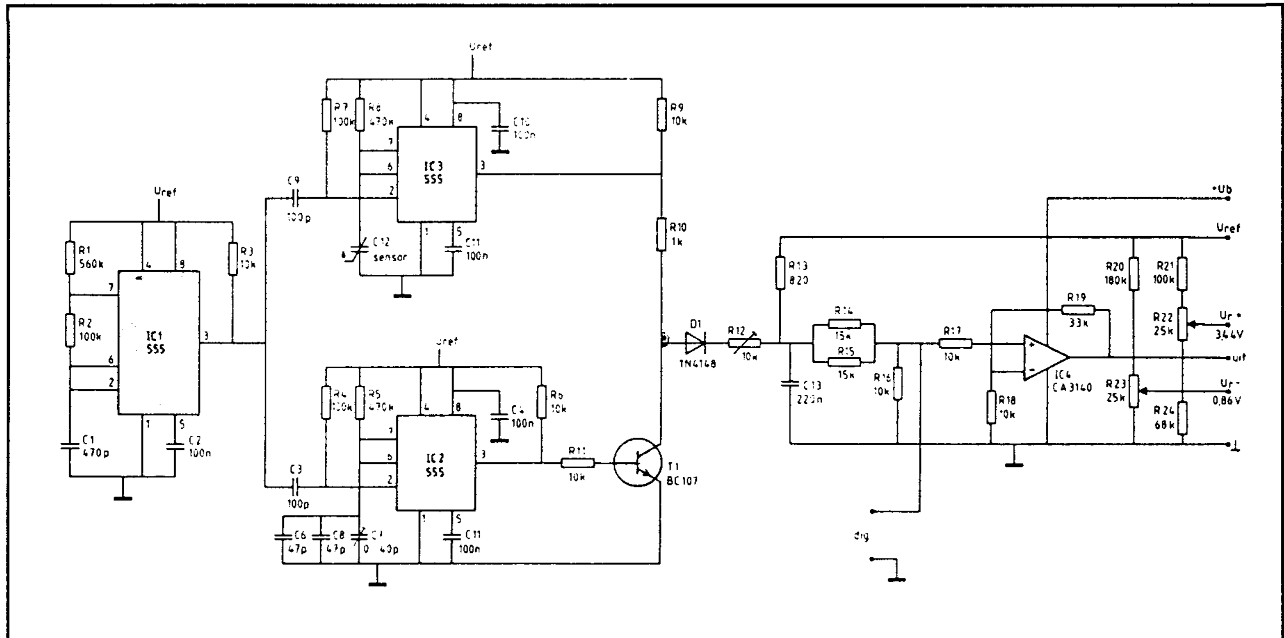
Figuur 6/6.18.4-27: Het schema van een zeer eenvoudige analoge hygrometer.

R 1 = 470 k	D 1 = 1 N4148
R 2 = 470 k	C 1 = Trimmer 7 - 35 pF
R 3 = 150 Ω	C 2 = 47 pF
R 4 = 4,7 k	C 3 = 47 pF
R 5 = 1 M	C 4 = 47 pF
R 6 = 39 k	C 5 = 1 nF
R 7 = 47 k	C 6 = 0,1 µF = 100 nF
R 8 = 470 k	C 7 = 1 µF
R 9 = 1 k	T 1 = BC 238 o. ähnl.
R 10 = 1,5 k	T 2 = BC 238 o. ähnl.
R 11 = 18 k	T 3 = BC 309 o. ähnl.
R 12 = 180 k	NTC = Heißleiter 60 k
R 13 = 1 M	IC 1 = CD 4001
P 1 = 250 k	IC 2 = CD 4001
P 2 = 10 k	

Figuur 6/6.18.4-28: De onderdelenlijst van het schema van figuur 6/6.18.4-27.

De uitgangsspanning op pen 3 wordt omgezet in smalle pulsjes via de condensatoren C3 en C9. Deze pulsjes triggeren de twee monostabiele multivibratoren IC2 en IC3. De pulsbreedte van IC2 wordt bepaald door de capaciteit van de sensor, die van IC3 door de condensatoren C6, C7 en C8.
De twee pulsen worden met elkaar vergeleken in de transistor T1. Deze word gevoed door de uitgangspuls van IC2 en in geleiding gestuurd door de uitgangspuls van IC3. Op de collector verschijnt dus alleen een puls als de pulsbreedte van IC2 groter is dan deze van IC3.

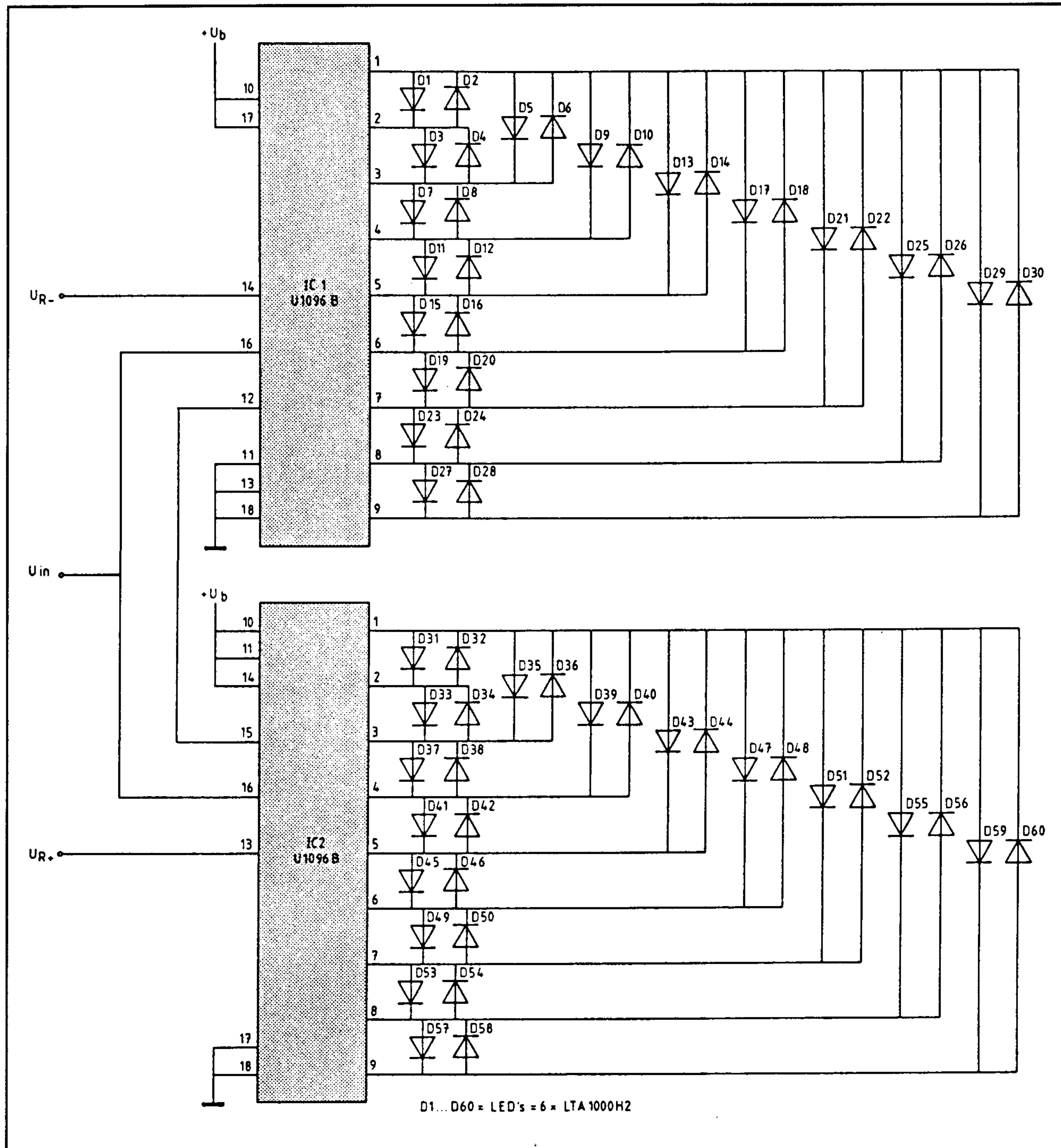
6.18.4 Vochtsensoren



Figuur 6/6.18.4-29: Een hygrometer voor het aansturen van een LED-schaal.

De schakeling werkt dus als EXOR en het verschil in pulsbreedte verschijnt op de collector. Via D1, R12 en C13 wordt de pulstrein omgezet in een keurige gelijkspanning die recht evenredig is met de procentuele vochtigheid van de lucht. Over de weerstand R16 kan een digitale paneelmeter met een bereik van 1 V worden aangesloten. De schakeling levert (na afregeling en ijking) een spanning van 0,2 V voor een vochtigheid van 20 % en een spanning van 0,8 V voor een vochtigheid van 80 %. Voor het sturen van een uitlezing met LED thermometerschaal is dit spanningsbereik iets te klein. Vandaar is een extra versterker rond IC4 nageschakeld, met een versterking van 4,3. De meetspanning wordt dus opgepept tot 0,86 V voor 20 % en 3,44 V voor 80 %. De meeste IC's voor het aansturen van een thermometerschaal hebben pennen waarop men de spanningen kan instellen waarbij de onderste en de bovenste LED van de schaal gaan branden. Vandaar dat twee instelpotentiometertjes R22 en R23 aanwezig zijn, waarmee men spanningen van precies 0,86 V en 3,44 V kan instellen. Deze worden aangeboden aan de twee genoemde pennen van het IC dat de LED-schaal stuurt. De kritische onderdelen van deze schakeling moeten gevoed worden uit een zeer goed gestabiliseerde en temperatuurstabiele spanning van 8 V, aangeduid in het schema met U_{ref}. Alleen de operationele versterker IC4 kan gevoed worden uit een hogere spanning van +15 V, die niet zo erg goed gestabiliseerd moet zijn. Voor de volledigheid wordt in figuur 6/6.18.4-30 een schema geopenbaard van een LED-schaal met niet minder dan 60 LED's! Toch zijn hiervoor maar twee IC's nodig van het type U 1096B van Telefunken. De 60 LED's zijn verzameld in zes display's van het type LTA 1000 H2, in DIL-20 behuizing ondergebrachte onderdelen die ieder tien afzonderlijk aan te sturen LED's bevatten. De punten U_R worden verbonden met de gelijknamige punten van het schema van figuur 6/6.18.4-29.

6.18.4 Vochtsensoren



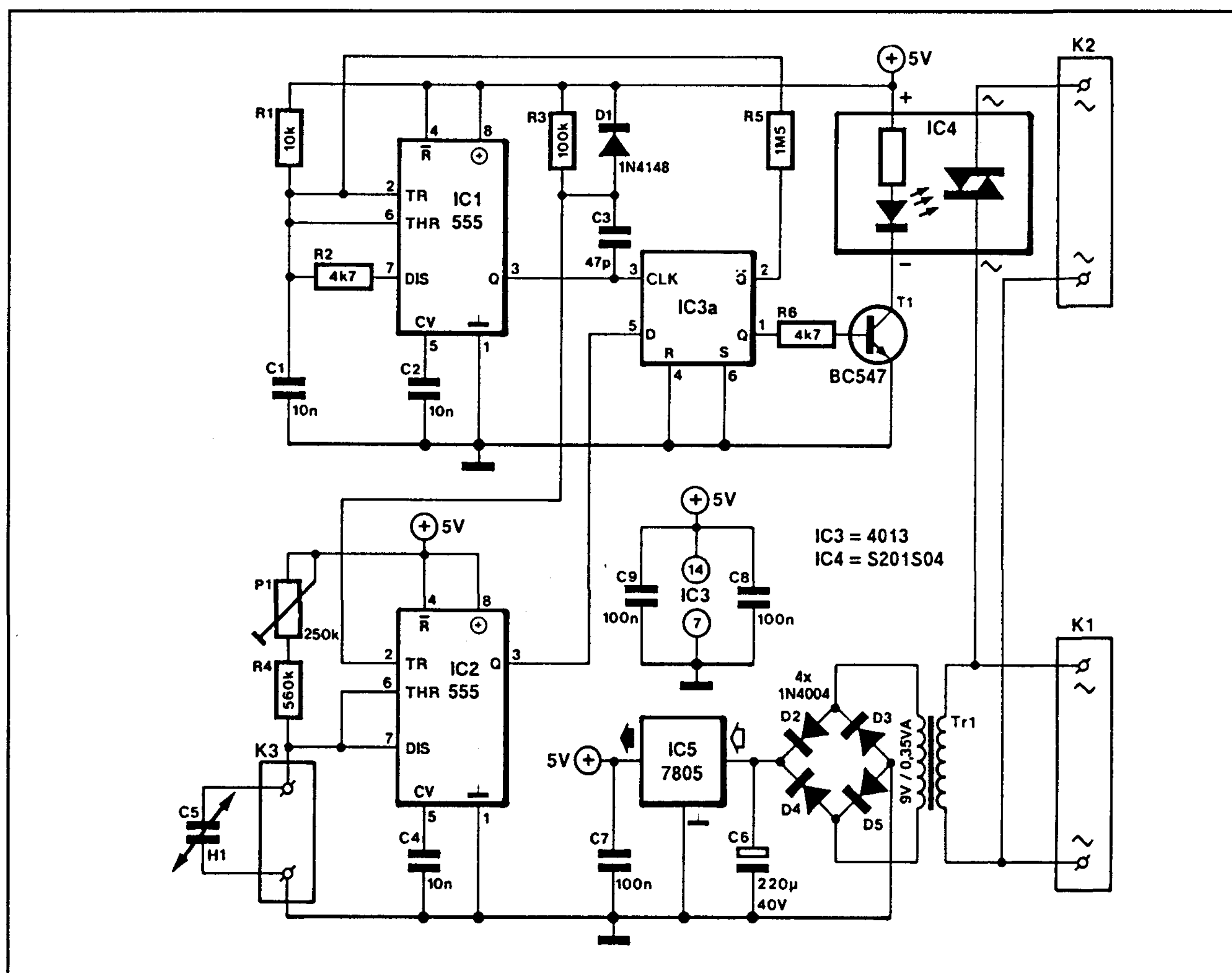
Figuur 6/6.18.4-30: Een schema van een LED-schaal die bestaat uit niet minder dan 60 LED's en die rechtstreeks op de schakeling van figuur 6/6.18.4-29 kan worden aangesloten.

Automatische besturing van een ventilator

Met de schakeling van figuur 6/6.18.4-31 kan men automatisch een afzuigventilator sturen als de vochtigheid van de lucht boven een bepaalde waarde stijgt. Ook nu worden twee timers van het type 555 gebruikt. IC1 werkt als astabiele multivibra-

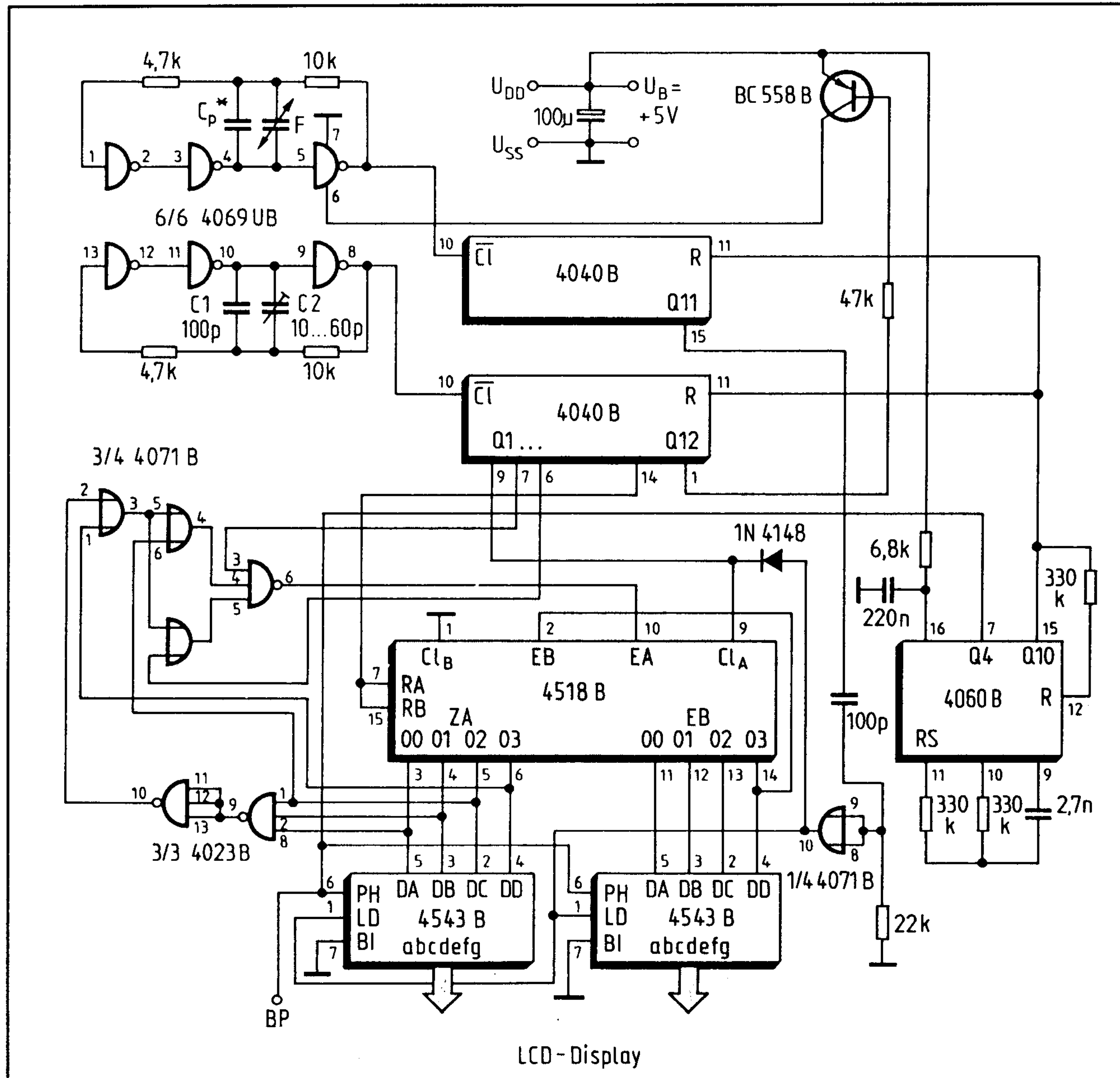
6.18.4 Vochtsensoren

tor. Deze stuurt de als monostabiele multivibrator geschakelde IC2.
De pulsbreedte op pen 3 is uiteraard weer afhankelijk van de capaciteit van de sensor C5. De twee uitgangspulsen worden aangeboden aan de CLOCK- en D-ingangen van een type-D flip-flop IC3a. Als de puls die uit IC2 komt langer is dan de puls die door IC1 wordt geleverd, zal de flip-flop een hoog signaal op zijn Q-uitgang zetten. Is echter het L-niveau van de puls uit IC1 breder dan de puls van IC2, dan zal de flip-flop een "L" op zijn Q zetten. De hoge Q-uitgang stuurt de transistor T1 in geleiding. In de collector van die halfgeleider is een optische koppelaar opgenomen met secundair een triac. Deze staat in serie met de netspanning.
Als de transistor T1 gaat geleiden wordt de fotogevoelige triac belicht en zal de netspanning worden doorgekoppeld naar de motor van de op K2 aangesloten-ventilator. Uiteraard kan men transistor T1 ook een relais laten schakelen! Bij deze toepassing is het niet noodzakelijk de schakeling op de omslachtige fysische manier af te regelen.



Figuur 6/6.18.4-31: Een schakeling waarmee men automatisch een ventilator kan laten inschakelen als de lucht te vochtig wordt.

6.18.4 Vochtsensoren



Figuur 6/6.18.4-32: Het schema van een digitale hygrometer met linearisering van de werking.

Men zet de schakeling in de ruimte waar de ventilator staat en zet daar ook een mechanische hygrometer. Men sluit de ventilator aan op de schakeling. Als de motor zou gaan draaien dan verdraait men de loper van P1 tot de motor weer afslaat. Men verhoogt de luchtvochtigheid in de ruimte, bijvoorbeeld door een pannetje water aan de kook te brengen en let op de indicatie van de mechanische hygrometer.

Als deze de vochtigheidsgraad aanwijst waarop de ventilator moet gaan werken verdraait men de potentiometer P1 tot de ventilatormotor aanslaat. De schakeling heeft een ingebouwde hysteresisch, zodat de ventilator blijft draaien tot de luchtvochtigheid behoorlijk gedaald is.

6.18.4 Vochtsensoren

Een digitale hygrometer met gelineariseerde schaal

Tot slot wordt in figuur 6/6.18.4-32 het schema gegeven van een hygrometer waarmee men de vochtigheid digitaal kan meten. Het bijzondere van deze schakeling is dat het niet-lineaire karakter van de H-1 wordt gecompenseerd. Basis zijn weer twee astabiele multivibratoren die zijn samengesteld met de poorten uit de CD 4069UB. De frequentie van de ene poort wordt bepaald door de capaciteit van de sensor H-1, de frequentie van de andere poort door de waarde van de trimmercondensator C2 en de vaste condensator C1. Om het stroomverbruik van de schakeling te reduceren zijn de oscillatoren niet vrijlopend geschakeld. De voedingsspanning van het IC wordt namelijk via de transistor BC 558B maar om de seconde gedurende 5 ms aangevoerd. De oscillatoren werken dan even met een frequentie rond de 100 kHz en dat is voldoende om de vochtigheid digitaal uit te lezen.

De twee astabiele multivibratoren sturen twee identieke binaire tellers aan van het type CD 4040B. In deze tellers worden de uitgangspulsen niet alleen verlengd, maar wordt ook een puls gevormd waarvan de breedte evenredig is met het verschil in breedte tussen de beide oscillatorpulsen. De breedte van deze puls is dus weer evenredig niet de gemeten vochtigheid. Deze puls wordt gebruikt om de dubbele decimale teller CD 4518 B open te zetten. Deze teller telt dan de pulsen die door de referentiegenerator rond de CD 4060 B worden geleverd. De getelde pulsen worden door de CD 4518B decimaal geteld en als twee vier bit brede codes naar de twee LCD-drivers CD 4543B gevoerd. Deze sturen de zeven segmenten a tot en met g van de zeven-segment indicatoren.

De compensatie van de niet-lineariteit van de karakteristiek van de sensor H-1 gebeurt volledig digitaal. Het meetbereik van 10 % tot 90 % wordt ingedeeld in drie gebieden. De poorten van de IC's CD 4071B en CD 4023 B beslissen uit de uitgangen van de tweevoudige decimale teller CD 4518B in welk gebied van de karakteristiek de sensor werkt. Meet de sensor in het gebied tussen 10 % en 40 %, dan zorgen de poorten ervoor dat de teller CD 4518B alle pulsen van de referentiegenerator telt. Stellen de poorten echter vast dat de sensor werkt in het gebied tussen 40 % en 70 %, dan wordt de decimale teller zo gestuurd dat deze slechts drie van de vier binnenkomende pulsen van de referentiegenerator telt. Werkt de sensor in het gebied boven de 70 %, dan wordt de decimale teller zo gestuurd dat deze slechts twee van de vier referentiepulsen telt. Op deze manier wordt op een digitale manier een soort van automatische versterkingsregeling geïntroduceerd.

6.18.4 Vochtsensoren

6/6.18.5

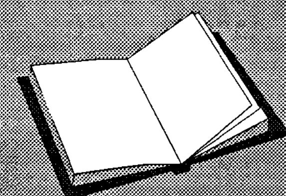
Gas- en rooksensoren

Inleiding

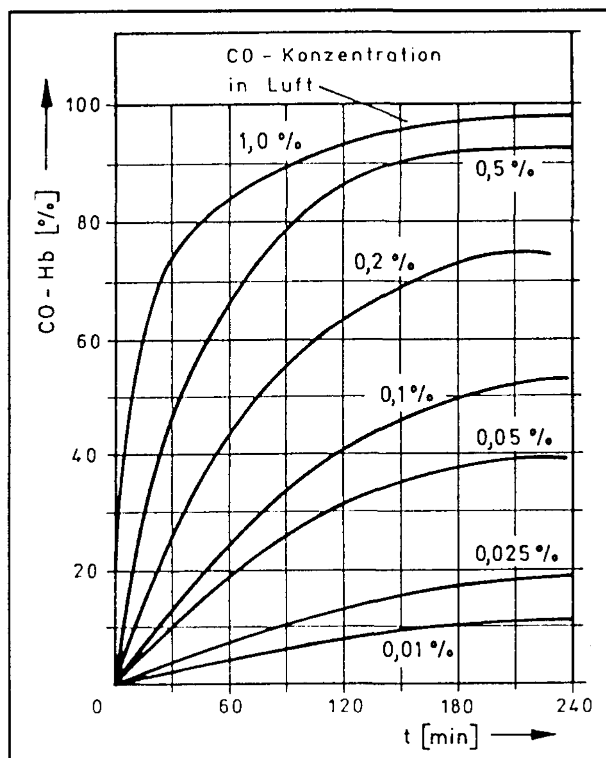
Detectie van schadelijke gassen van levensbelang!
Af en toe leest men in de krant trieste berichten over gestikte mensen, die hun woning verwarmden met steenkoolkachels of allesbranders, of die om het leven komen door een gaslek in huis. Triest, omdat dergelijke ongevallen gemakkelijk en voor relatief weinig geld te voorkomen zijn. Er bestaan namelijk goedkope sensoren, die schadelijke gasvormige verontreiniging van de lucht onmiddellijk detecteren en waarmee zeer eenvoudige alarmschakelingen te bouwen zijn.
Vreemd is dat een heleboel elektronische doe-het-zelvers wél investeren in een inbraakalarm, maar dat maar weinig gasalarmen in gebruik zijn. En dat terwijl het bouwen van een gasalarm nog veel eenvoudiger is dan het aanleggen van een volledig inbraakalarm!

Koolstofmonoxyde grote boosdoener
Een van de gevaarlijkste gassen die in een huis kunnen ontstaan is koolstofmonoxyde, met als chemische formule CO. Dit gas komt vrij bij onvolledige verbranding van organische materialen zoals steenkool, hout en aardolieën (benzine!). Het grote gevaar van dit gas is dat het reuk- en kleurloos is en dus niet wordt opgemerkt door de zintuigen. Het CO-gas bindt zich zeer gemakkelijk aan de hemoglobine die in het bloed zit en verhindert daardoor de normale opname van zuurstof door het bloed. De gevolgen van koolstofmonoxydevergiftiging zijn misselijkheid bij zeer kleine concentraties tot dodelijke verstikking bij hoge concentraties. In de grafiek van figuur 6/6.18.5-1 zijn de gevolgen van het inademen van met koolstofmonoxyde verontreinigde lucht getekend. De grafiek geeft het verband tussen de inademingsduur (horizontaal) en de mate waarin CO in het hemoglobine wordt opgenomen (vertikaal) voor verschillende CO-concentraties in de lucht. Bij een concentratie van slechts 1 % zal na vier uur alle hemoglobine in het bloed zich met CO in plaats van met zuurstof verbinden! Het bloed is dan absoluut niet meer in staat zuurstof op te nemen met als gevolg de dood. Zelfs bij een CO-concentratie van

LEES OOK:
Hoofdstuk 3/12.3
Hoofdstuk 6/6.20



0,05 % treedt na vier uur bewusteloosheid en coma op.



Figuur 6/6.18.5-1: Verband tussen de inademingsduur van CO en de mate waarin dit gas in het bloed-hemoglobine wordt opgenomen.

In omgevingen waar gevaar bestaat voor CO-verontreiniging van de lucht, zoals garages, motorcompartimenten van schepen, verwarmde tenten, met steenkoolkachels of hout gestookte ruimtes, etc, is het dus van groot belang alarmsystemen te installeren die de concentratie van CO in de lucht kunnen meten.

Andere gassen

Behalve koolstofmonoxyde zijn er nog andere gassen, die bij een te grote concentratie schadelijk voor de gezondheid zijn. Een van de gassen die tegenwoordig volop in de belangstelling staat in ozon. Ozon ontstaat bijvoorbeeld bij elektrische ontladingen door de lucht, waarbij een normaal zuurstofatoom O_2 wordt omgezet in een isotoopatoom O_3. Dit ozongas werkt zeer oxyderend en reactief. Die (onzichtbare) ontladingen ontstaan bijvoorbeeld in copieermachines, laserprinters en monitoren. In kantoorruimtes waar veel van dergelijke apparaten aanwezig zijn kan de ozonconcentratie tot onaanvaardbare hoogte oplopen.

Maar daarnaast zijn er tal van andere gassen die ongewenst, schadelijk of brandbaar zijn en waarvan men dus graag de concentratie wil meten, zoals:

- koolstofdioxyde (CO_2);
- prophaan;
- buthaan;
- methaan;
- alcohol;
- waterstof;
- ethanol;
- aardgas.

Geen vuur zonder rook!

Gassensoren zijn echter ook goed bruikbaar als brandmelder. De normale blusinstallaties, die tegenwoordig verplicht zijn in ieder openbaar gebouw, zijn niet geschikt voor huisgebruik. Deze zogenoemde Sprinkler-systemen reageren immers op temperatuur en sproeien bij overschrijding van een bepaalde drempel automatisch een waternevel in de ruimte. Er zijn echter speciale rookdetectoren ontwikkeld, die niet op temperatuur reageren, maar op de aanwezigheid van roetdeeltjes in de lucht. Deze geven een alarm af als bijvoorbeeld de keuken vol rook komt te hangen, omdat er iets op het fornuis staat aan te branden.

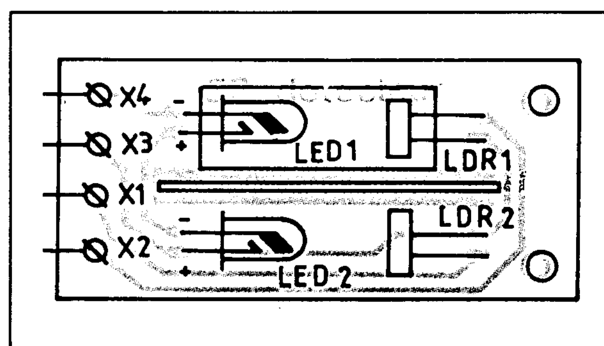
Sensorsystemen
Voor al deze gassen zijn sensorsystemen ontwikkeld. Deze systemen kunnen in drie groepen ingedeeld worden:

- Optische sensoren
  Deze zijn alleen bruikbaar voor het detecteren van grote concentraties van zichtbare gassen, zoals rook en fijne roetdeeltjes.
- Ionisatiekamers
  Deze reeds tientallen jaren bestaande detectiesystemen zijn ook bedoeld voor het signaliseren van de aanwezigheid van rook, maar zijn veel gevoeliger dan de optische systemen.
- Taguchi-sensoren
  Deze sensoren zijn bruikbaar voor het detecteren van onzichtbare gassen en werken op halfgeleidende basis. Maar daarnaast zijn deze sensoren ook uitstekend geschikt voor de detectie van rookgassen.

Bespreking
In de volgende subhoofdstukken worden de principes van deze sensorsystemen beschreven. Natuurlijk komen nadien de specifieke sensoren aan de orde en wordt besloten met een overzicht van in de wereldliteratuur en in fabrieksapplicaties beschreven nabouwschakelingen.

Optische detectoren

Werkingsprincipe
Optische detectoren vergelijken de lichtdoorlaatbaarheid van normale lucht met deze van de verontreinigde lucht, waarbij rekening wordt gehouden met de omgevingsintensiteit. Het principe van een dergelijk systeem is getekend in figuur 6/6.18.5-2. Twee volledig identieke LED's en twee volledig identieke LDR's worden op een printje gemonteerd. De afstanden tussen de LED's en de LDR's worden heel nauwkeurig aan elkaar gelijk gemaakt. Over een van de combinaties LED + LDR wordt een glazen buisje gemonteerd en wel zo dat de ruimte in het buisje volledig luchtdicht is afgesloten. Als er geen rook in de lucht is, zal het licht van beide LED's met identieke intensiteit op de LDR's invallen. De weerstanden van deze onderdelen zijn dan ook identiek. Is er echter rook in de lucht aanwezig, dan zal het licht van LED2 voor een deel door de rook geabsorbeerd worden, waardoor de weerstand van LDR2 groter wordt dan deze van LDR1. De tweede combinatie LED1 + LDR1 blijft natuurlijk zuivere lucht meten. Het weerstandsverschil tussen beide LDR's kan op een heel eenvoudige manier worden gemeten. Het zal duidelijk zijn dat de gevoeligheid van dergelijke systeem niet erg groot is. Er moet al heel wat rook in de lucht aanwezig zijn alvorens dit optisch gedetecteerd kan worden.



Figuur 6/6.18.5-2: Het principe van een optische rookdetector.

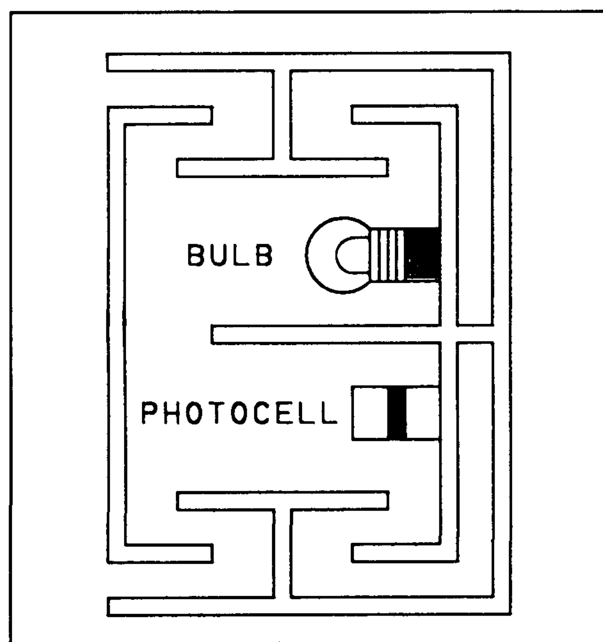
Naast deze zogenoemde differentiële optische systemen bestaan er echter ook systemen, die maar met één LED + LDR combinatie werken. De invloed van het omgevingslicht wordt hierbij uitgeschakeld door de sensor in een soort lichtsluis

te monteren, waar wél de lucht vrijelijk doorheen kan stromen, maar waarbij het omgevingslicht wordt afgeschermd. In figuur 6/6.18.5-3 is de constructie van een dergelijke enkelvoudige optische sensor getekend. In de meeste gevallen wordt het lampje (of de LED) pulserend aangestuurd. Dat spaart stroom uit, zodat het mogelijk is een sensor uit een batterij te voeden. Het op de fotocel of LDR gereflecteerde licht wordt omgezet in een spanning, die wordt opgeslagen in een condensator. Als opeens die condensator minder wordt opgeladen betekent dit dat de lucht in de sensor verduisterd wordt door rook of roetdeeltjes. De schakeling vergelijkt het resultaat van iedere meting met de over de condensator aanwezige spanning van de vorige meting en zet een alarm in werking als er een groot verschil tussen beide spanningen ontstaat.

Eenvoudige zelfbouwschakeling met differentiële optische detector

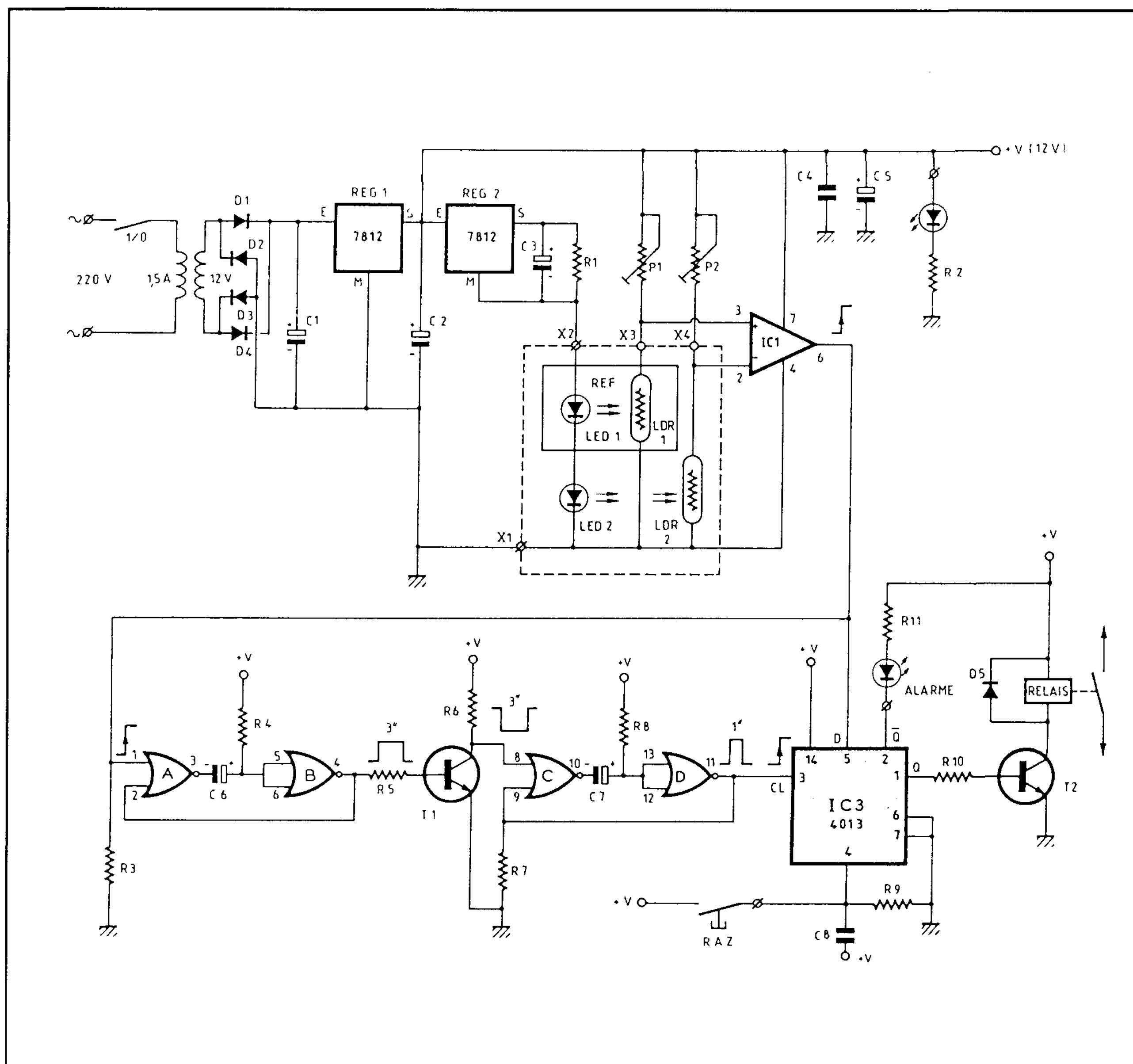
In figuur 6/6.18.5-4 is een praktische zelfbouwschakeling getekend rond het systeem van een differentiële sensor. Deze schakeling werd beschreven in het Franse tijdschrift "Electronique Pratique". De twee LED's worden door middel van de als constante stroombron geschakelde 7812 (REG2) gevoed uit een spanning van 12 V. Door de серieschakeling van beide onderdelen is men er zeker van dat de lichtopbrengst identiek blijft, bij geselecteerde exemplaren. De LDR's worden met voorschakelweerstanden gevoed uit +12 V. De spanningen op de knooppunten worden vergeleken in een comparator. Met behulp van de instelpotentiometers P1 en P2 kan men de toch steeds aanwezig blijvende afwijkingen tussen beide kringen afregelen. In absoluut rookvrije lucht moet men het systeem zo afregelen dat de spanning op punt X3 iets groter is dan de spanning op punt X4.

Op het moment dat rook of roet wordt waargenomen zal de spanning op punt X4 groter worden dan de spanning op punt X3. De uitgang van de comparator wordt positief. Deze positieve spanningssprong wordt aangeboden aan de D-ingang van de type-D flip-flop IC3. Maar het signaal gaat ook naar twee pulsvormers rond vier NOR-poorten. De eerste pulsvormer wekt een puls op met een breedte van ongeveer 3 seconde. Deze triggert een tweede monostabiele multivibrator, die een pulsje met een breedte van 1 seconde genereert. De voorflank van deze puls wordt aangeboden aan de clock-ingang van de flipflop. De Q-uitgang zal op dit moment de informatie van de D-ingang overnemen. Deze tijdvertraging zorgt voor een effectieve onderdrukking van valse alarmen.



Figuur 6/6.18.5-3: De constructie van een enkelvoudige optische sensor.

6.18 Sensor-IC's

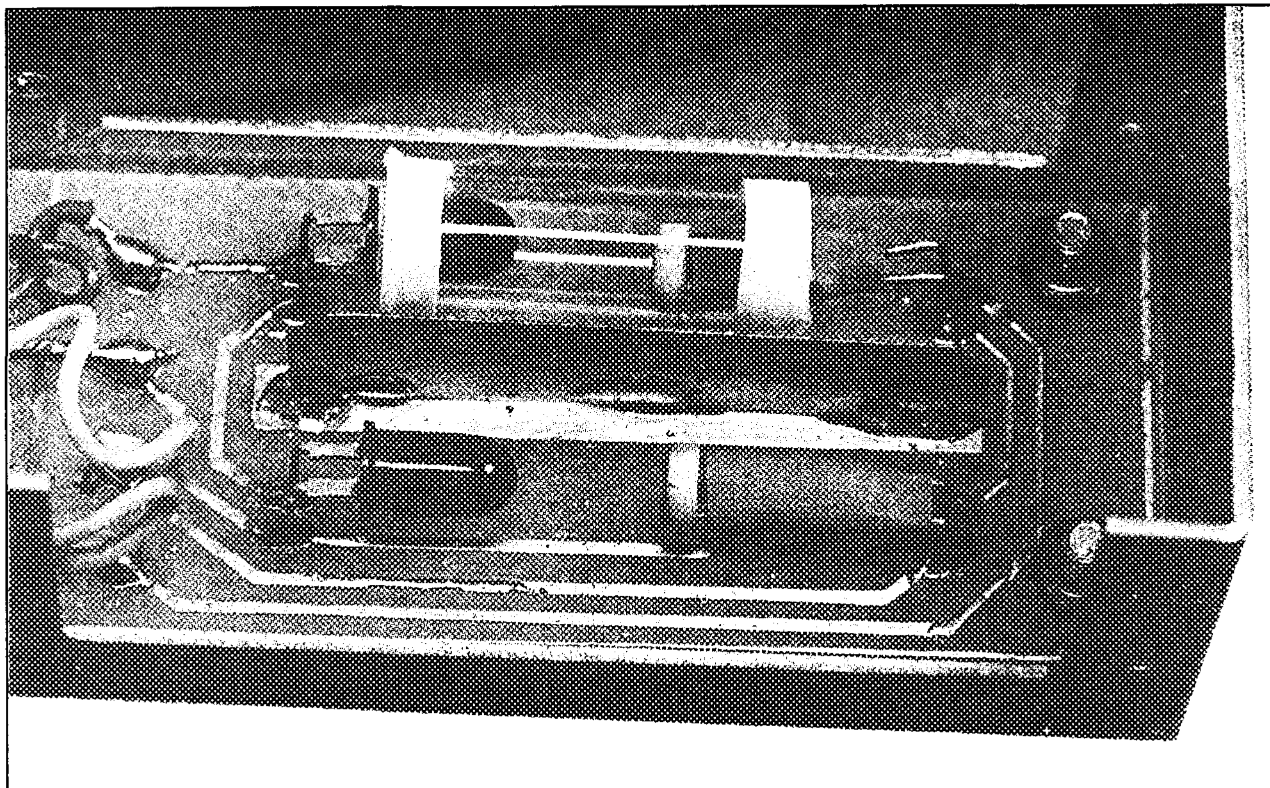


Figuur 6/6.18.5-4: Een praktische schakeling met een optische rookdetector, gepubliceerd in "Electronique Pratique".

Stel, dat er een vlieg in de sensorconstructie terecht komt, waardoor IC1 steeds pulsjes afgeeft. Deze zijn maar even aanwezig, zodat het signaal op de D-ingang van de flip-flop alweer verdwenen is alvorens de twee monoflop's de met drie seconden vertraagde clock-puls leveren. De Q-uitgang wordt "H" als er een minstens drie seconde durende positieve spanning op de uitgang van de comparator verschijnt.

Deze hoge spanning stuurt via de transistor T2 een alarmrelais. De $\overline{Q}$-uitgang wordt dan natuurlijk "L" en deze spanning zorgt voor het oplichten van de LED "ALARM". In figuur 6/6.18.5-5 wordt de constructie van de differentiële detector voorgesteld.

6.18 Sensor-IC's



Figuur 6/6.18.5-5: De constructie van de differentiële optische rookdetector.

Een enkelvoudige rookdetector als bouwpakket

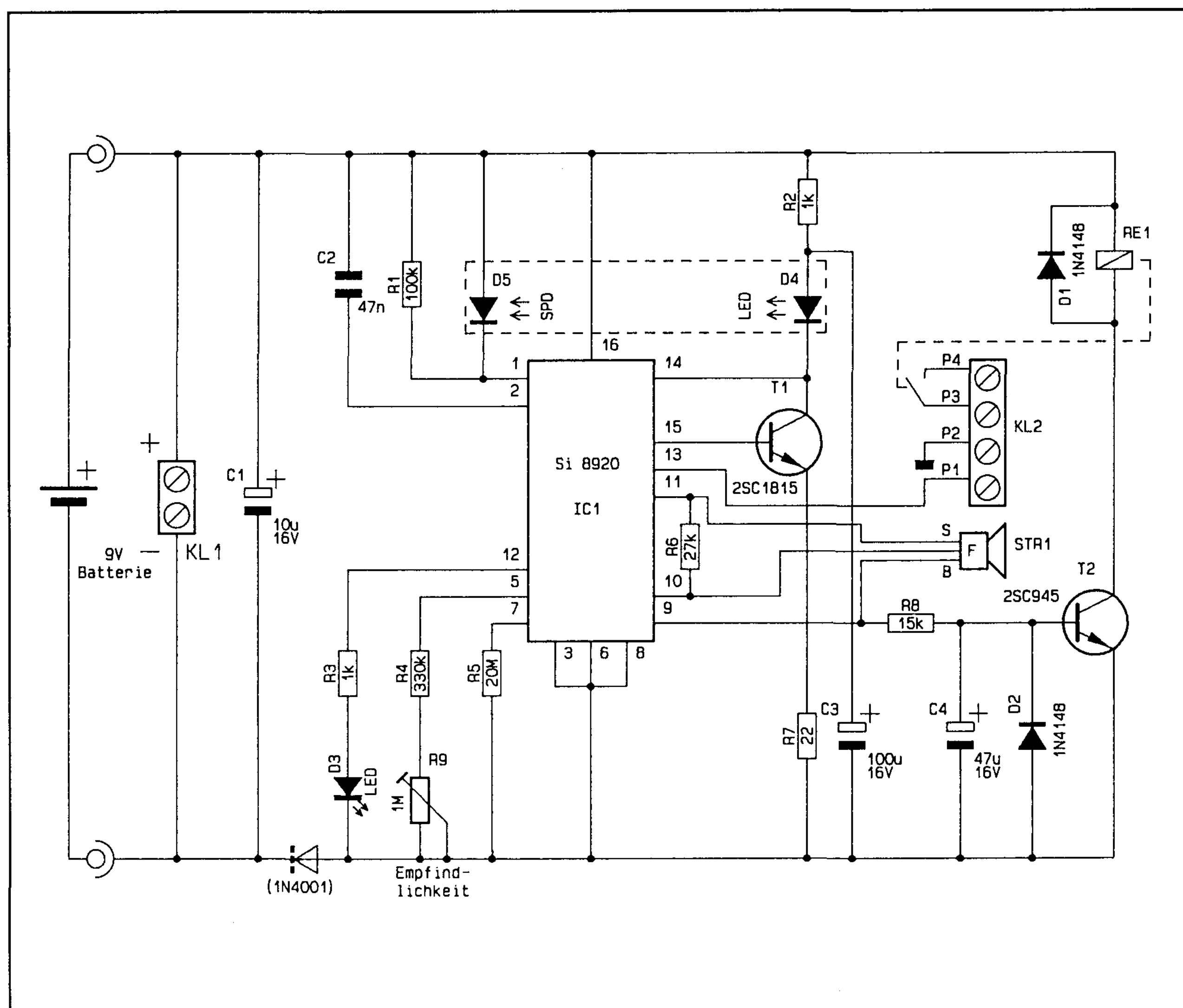
Door de Duitse firma ELV (in Nederland vertegenwoordigd door Binell in Nijverdal) wordt een zelfbouwpakket van een enkelvoudige rookdetector aangeboden. Het schema van deze detector, RM400 genoemd, is getekend in figuur 6/6.18.5-6. D4 is de LED, die door een speciaal IC intermitterend wordt aangestuurd. Het IC stuurt iedere zeven seconde een flinke stroompuls met een breedte van slechts 5 ms door de LED. Deze lichtpuls wordt gedetecteerd door de fotodiode D5 en door het IC versterkt. Het IC stuurt een stroompulsje door de LED D3, die dus om de zeven seconde even oplicht, als teken dat het alarm werkt. Vangt de fotodiode minder licht op dan normaal, dan wordt dit door het IC gedetecteerd.

De schakeling gaat nu de pulsfrequentie naar de LED verhogen tot één puls per twee seconde. Vangt de fotodiode nu nog steeds minder licht op, dan wordt het alarm geactiveerd. Ook dit is een manier om de storingsgevoeligheid van het systeem te optimaliseren.

De schakeling stuurt nu een 1 kHz signaal met een top-tot-top waarde van 15 V naar de piëzo-ceramische zoemer STR1. Het gevolg is dat er een oorverdovend lawaai ontstaat. Bovendien wordt via de transistor T2 het alarmrelais RE1 aangestuurd. Het alarm blijft actief tot het systeem gedurende ongeveer 6 seconde geen verminderde lichtintensiteit op D5 waarneemt.

Het systeem keert dan terug naar de rustpositie, waarbij de LED D4 weer om de zeven seconde wordt geactiveerd.

6.18 Sensor-IC's



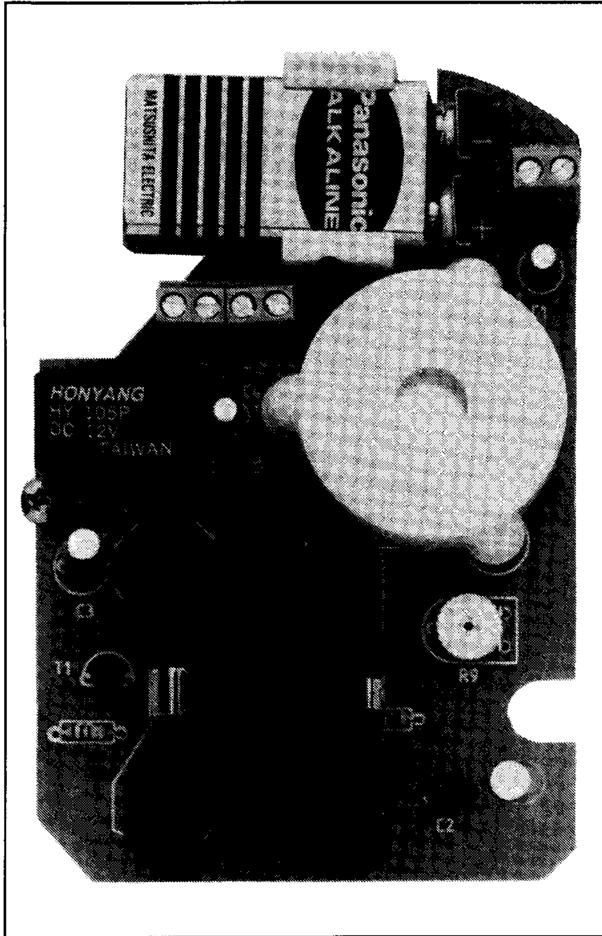
Figuur 6/6.18.5-6: Een door ELV ontwikkelde rookdetector met enkelvoudige optische sensor.

In figuur 6/6.18.5-7 wordt de print voorgesteld, waarop het alarm is gemonteerd. Onder de zwarte kunststof behuizing, links onder, zijn de infrarode LED D4, de fotodiode D5 en het IC gemonteerd. De speciale behuizing staat er garant voor dat de lucht wel kan doorstromen, maar dat het omgevingslicht volledig wordt afgeschermd. Dank zij de speciale aansturing met zeer smalle pulsjes kan de schakeling ongeveer één jaar werken op een Alkali-Mangaan batterij van 9 V.

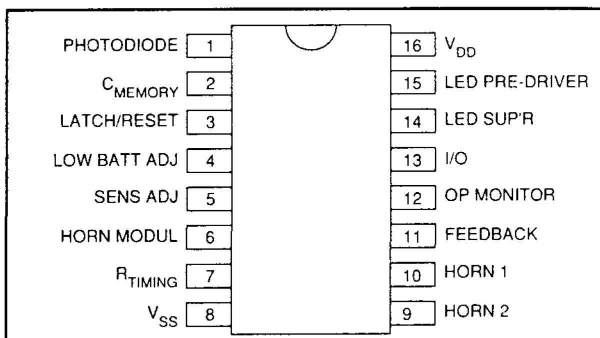
De SD2, een besturing-IC voor enkelvoudige optische sensoren

Door de Amerikaanse fabrikant Supertex Inc. wordt een speciaal IC op de markt gebracht, dat alle taken voor het besturen en uitlezen van een enkelvoudige optische rooksensor overneemt. De SD2 stuurt een infrarode LED om de acht seconde pulsvormig aan, de intensiteit van het door een infrarood gevoelige fotodiode opgevangen licht wordt gemeten en geëvalueerd.

6.18 Sensor-IC's



Figuur 6/6.18.5-7: De constructie van de lichtsluis op de print van de schakeling.



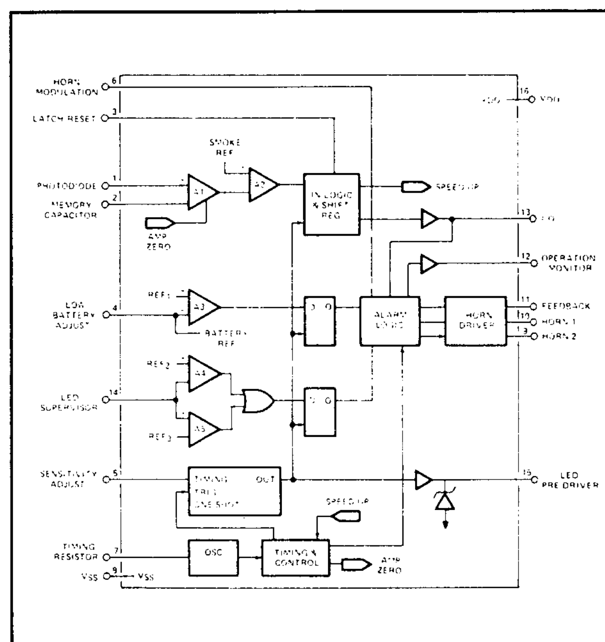
Figuur 6/6.18.5-8: De aansluitgegevens van de SD2.

Het IC heeft een uitgang voor het sturen van een piëzo-elektrisch alarm. De schakeling, ondergebracht in een DIL-16 behuizing, is in grote lijnen identiek aan de door ELV toegepaste Si8920. De aansluitgegevens zijn samengevat in figuur 6/6.18.5-8. De schakeling kan gevoed worden uit een spanning tussen +4,5 V en +15,0 V en verbruikt slechts 6 µA stroom in de bewakingsfase van het proces. De "LED PRE-DRIVER"-uitgang stuurt via een externe transistor zeer smalle pulsen door een infrarode LED. Deze lichtpulsen worden opgevangen door een infrarood gevoelige diode. De stroom door deze diode wordt door de schakeling gecontroleerd. Aan de hand van de grootte van deze stroom kan de schakeling detecteren of er met rook verontreinigde lucht aanwezig is tussen de LED en de fotodiode. Wordt rook gedetecteerd, dan wordt een piëzo-ceramische zoemer geactiveerd. Via een "REMOTE"-pen kunnen diverse identieke schakelingen parallel geschakeld worden.
Via de "OPERATION MONITOR"-uitgang, waarop een LED wordt aangesloten, kan de actieve status van de schakeling worden aangegeven. Via deze pen worden ook signalen afgegeven als de batterijspanning te laag wordt of als er iets mis is met de combinatie LED + fotodiode. In figuur 6/6.18.5-9 is het intern blokschema van de schakeling getekend.

Een korte beschrijving van de functie van alle aansluitpennen:
- Pen 1: fotodiode ingang
  Wordt verbonden met de kathode van de fotodiode, de anode hangt aan de positieve voedingsspanning.
- Pen 2: ingang geheugencondensator
- Een condensator aan deze ingang bepaalt de gevoeligheid van de detector, waarde kan variëren tussen 10 nF en 50 nF.

- Pen 3: latch/reset ingang
  Als deze ingang met de voeding wordt verbonden zal de schakeling na het detecteren van een alarm in de alarmtoestand blijven.
  Een reset ontstaat door deze ingang even naar de massa te trekken.
- Pen 4: low battery threshold
  Door deze pen via een weerstand met de massa te verbinden, kan men de drempelspanning van de batterij instellen, waarbij de schakeling een "LOW BAT"-conditie afgeeft.
- Pen 5: smoke sensitivity adjustment
  Door deze pen via een weerstand met de massa te verbinden kan men de gevoeligheid van de detector instellen.
- Pen 6: horn modulation control input
  Als deze pen met de voeding verbonden wordt, werkt het alarm intermitterend. Verbindt men deze pen met de massa, dan klinkt het alarm ononderbroken.
- Pen 7: timing resistor
  Een weerstand tussen deze pen en de massa stelt de oscillatorfrequentie in.
- Pen 8: massa
- Pennen 9, 10 en 11: horn outputs
  Worden verbonden met de drie aansluitingen van de piëzo-ceramische transducer van het alarm.
- Pen 12: operation monitor
  Stuurt een puls van 17 ms breedte om de 35 s naar een LED, die aangeeft dat de schakeling actief is. Stroomcapaciteit is 4 mA. Deze LED wordt continu gestuurd als een alarm wordt gedetecteerd.
- Pen 13: multiple station input/output
  Deze pen kan verbonden worden met maximaal 22 identieke IC's. Deze pen gaat naar "H" als twee alarmsituaties zijn gedetecteerd.
- Pennen 14 en 15: LED supervisor
  Deze twee pennen moeten met de stroombesturing van de LED worden verbonden. Pen 15 kan maximaal 13 mA leveren en is zener geclampt op een spanning van 6,7 V.

De volledige timing van de schakeling is getekend in figuur 6/6.18.5-10.
De door de fabrikant voorgestelde standaardschakeling rond de SD2 voor het samenstellen van een zelfstandig werkend rookalarm is getekend in figuur 6/6.18.5-11. Vanwege de zeer lage stroomopname kan de voeding verzorgd worden door een 9 V batterij.



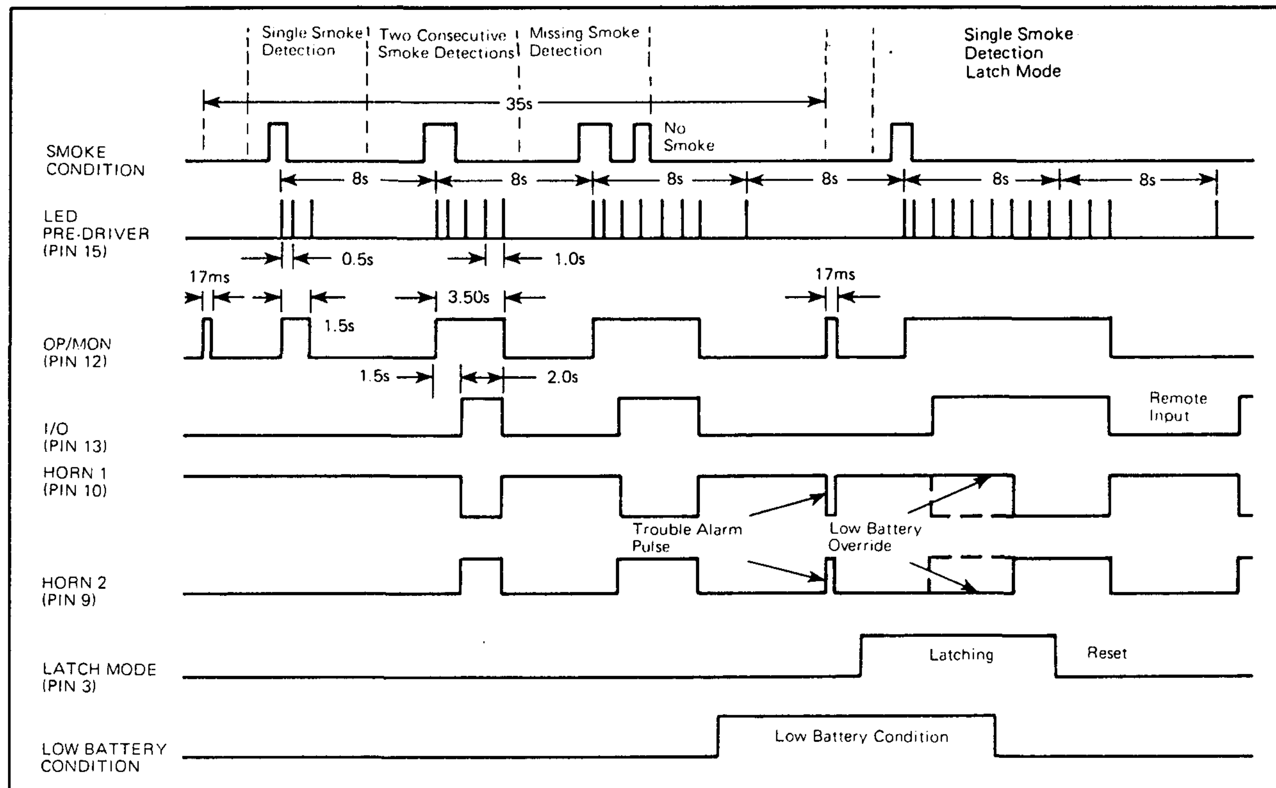
Figuur 6/6.18.5-9: Het intern blokschema van de SD2.

Ionisatiekamers

Werking

In openbare gebouwen, waar men om de een of andere reden geen Sprinkler sproei-installatie kan aanbrengen, hangen kleine kastjes tegen het plafond

6.18 Sensor-IC's



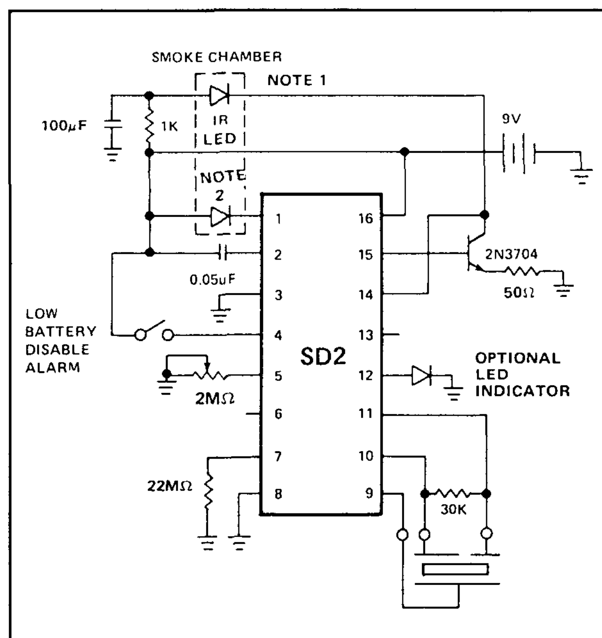
Figuur 6/6.18.5-10: De timing van een volledige werkcyclus van de SD2.

Hierop kan men het bekende "stralingsgevaar"-tekentje kan opmerken. Dan weet men zonder enige twijfel dat in dat gebouw een brandmeldinstallatie aanwezig is die werkt met ionisatiekamers. Een ionisatiekamer is in wezen niets anders dan een kleine condensator, die op een speciale manier samengesteld is.

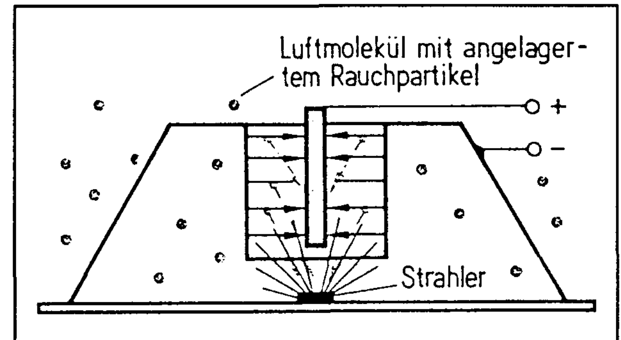
In figuur 6/6.18.5-12 is een doorsnede getekend door zo'n kamer. Eén elektrode van de condensator bestaat uit een dun metalen staafje. De tweede elektrode is cylindervormig rond de centrale elektrode opgesteld. Deze cylindervormige elektrode is gemaakt van geperforeerde metaalplaat, zodat de lucht tussen de elektroden kan stromen. De lucht tussen de twee elektroden vormt uiteraard het diëlektricum van de condensator. Onder de condensator is een klein radioactief preparaatje opgesteld. Dit straalt de lucht tussen de twee elektroden aan. Sommige atomen in de luchtmoleculen in het diëlektricum worden door deze straling geïoniseerd. Het atoom vervalt dus in negatief geladen vrije elektronen en positief geladen ionen. Legt men nu over de condensator een kleine gelijkspanning aan, dan zullen de vrije elektronen door de positieve plaat worden aangetrokken en de positieve ionen door de negatieve plaat. Er ontstaat dus een kleine stroom, die in de grootte-orde ligt van 10 tot 30 pA. De grootte van deze stroom is niet alleen afhankelijk van de intensiteit van de straling, maar ook van de beweeglijkheid van elektronen en ionen tussen beide platen. Als de lucht verontreinigd wordt door zware rookdeeltjes zal deze beweeglijkheid gaan dalen. De ionen en elektronen botsen nu immers tegen deze grote, zware deeltjes, waardoor zij zigzag gaan bewegen en de

6.18 Sensor-IC's

afgelegde weg toeneemt. Het gevolg is dat de stroom daalt. Bovendien krijgen de vrije elektronen hierdoor meer kans om met de positieve ionen te recombineren. Ook dit veroorzaakt een daling van de stroom. Deze zeer kleine stroomdaling kan gedetecteerd worden. Dit gebeurt door de ionisatiekamer, samen met een serieweerstand, over een gelijkspanning aan te sluiten. De spanningsval over de weerstand is dan uiteraard een maat voor de ionisatiestroom. Omdat de impedantie van de ionisatiekamer heel erg hoog is, moet ook de serieweerstand zeer groot zijn. Vaak gebruikt men een weerstand van niet minder dan 300 GΩ, die in de meeste gevallen in de ionisatiekamer geïntegreerd wordt. Ionisatiekamers zijn zeer gevoelig, hetgeen blijkt uit de grafiek van figuur 6/6.18.5-13. Zelfs bij een rookconcentratie in de lucht van slechts 1 %, valt de spanning op het knooppunt tussen ionisatiekamer en serieweerstand enige volt terug.



Figuur 6/6.18.5-11: De standaard schakeling rond de SD2 van Supertex.



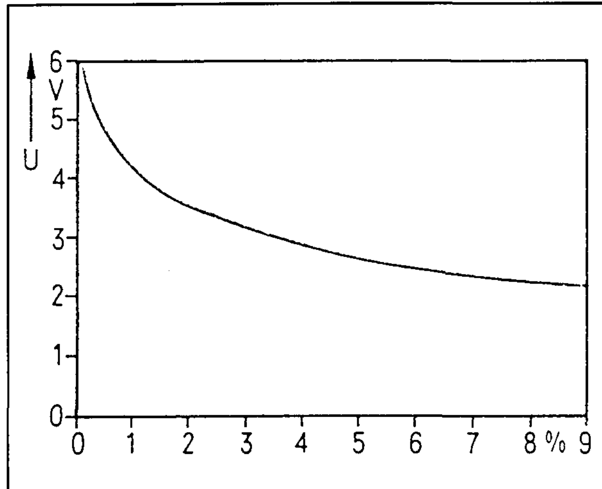
Figuur 6/6.18.5-12: Een doorsnede door een ionisatiekamer.

Ook bij ionisatiekamers maakt men onderscheid tussen enkelvoudige uitvoeringen en differentiële detectoren. Bij de laatstgenoemde zijn er twee identieke ionisatiekamers aanwezig, die bestraald worden door hetzelfde radioactieve preparaat. Eén kamer is open, de andere is echter hermetische gesloten. Door gebruik te maken van differentiële kamers wordt het radioactief verval van het preparaat, waardoor het preparaat in de loop der jaren steeds minder gaat stralen, gecompenseerd. Vanwege de zeer hoge impedantie van het systeem moet men speciale zeer hoogimpedante schakelingen ontwikkelen om de ionisatiekamer af te sluiten. Door enige IC-fabrikanten worden hiervoor speciale schakelingen op de markt gebracht.

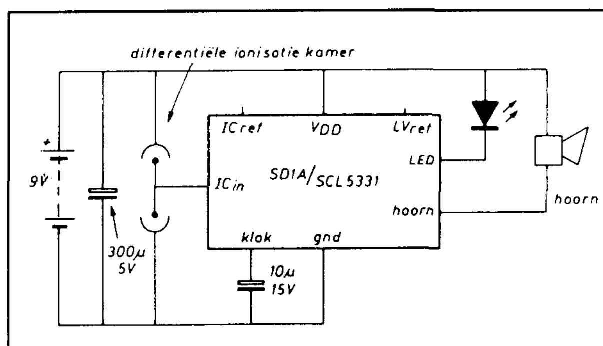
De SD1A en SCL5331

Twee Amerikaanse fabrikanten, Supertex Inc. en Solid State Scientific, brengen onder typenummers SD1A en SCL5331 twee volledig identieke IC's op de markt voor het aansturen en uitlezen van differentiële ionisatiekamers. De IC's worden in de handel gebracht in DIL-14 en in TO-100 behuizing. Een voorbeeldschakeling is getekend in figuur 6/6.18.5-14.

6.18 Sensor-IC's



Figuur 6/6.18.5-13: Deze grafiek geeft de spanningsval over een ionisatiekamer in relatie tot de procentuele verontreiniging van de lucht.



Figuur 6/6.18.5-14: De standaard schakeling rond de SD1A of SCL5331.

De buitenste elektroden van beide ionisatiekamers worden aangesloten op de voeding en de massa. De staafvormige binnenelektroden gaan gemeenschappelijk naar de pen I_{in} van het IC.
Deze ingang heeft een impedantie van meer dan 10^{13} Ω, zodat de ionisatiekamers nauwelijks belast worden. De LED die op de uitgang LED is aangesloten licht om de veertig seconden op, als teken dat de schakeling actief is. Wordt een verschil in geleiding tussen beide kamers vastgesteld, dan wordt de uitgang "HOORN" naar de massa getrokken en kan deze uitgang een stroom van 0,5 A verwerken. Hierop kan men dus een zware elektromechanische sirene aansluiten. Als de voedingsspanning onder de kritische waarde daalt zal de HOORN-uitgang om de veertig seconde even naar de massa worden getrokken. Deze tijd wordt bepaald door de waarde van de condensator die is aangesloten tussen de massa en de pen KLOK. Wordt deze ingang rechtstreeks met de voeding verbonden, dan wordt het beschreven waarschuwingssysteem tegen te lage spanning buiten gebruik gesteld en vervangen door het continu oplichten van de LED die op de uitgang LED is aangesloten. De schakeling verbruikt in ruststand ongeveer 7 μA bij een voedingsspanning van 9 V.

De SD3

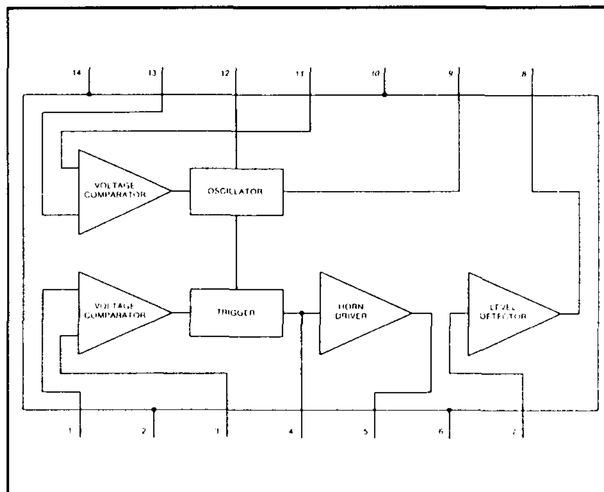
De door Supertex Inc. op, de markt gebrachte SD3 werkt in feite identiek aan de reeds beschreven SD1A. Het enige verschil is dat de HOORN-uitgang is vervangen door een uitgang die een blokspanning genereert die een piëzo-ceramische transducer kan aansturen. Dit alarm kan continu of intermitterend worden ingeschakeld. De frequentie op de HOORN-uitgang is frequentiegemoduleerd, waardoor een sirene-achtig geluid ontstaat.

MEM4962

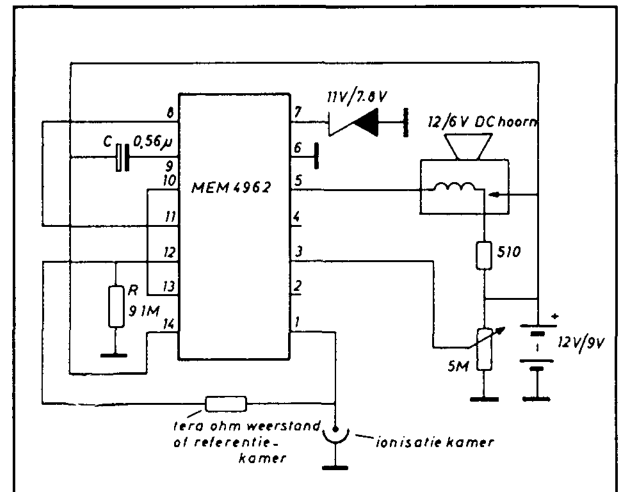
De MEM4962 van General Instruments Microelectronics is speciaal ontwikkeld voor het afsluiten van enkelvoudige hoogohmige ionisatiekamers. De ingangstrap heeft een impedantie van 10^{13} Ω. De schakeling is bedoeld voor batterijvoeding en heeft een ingebouwd alarm als de batterijspanning onder een bepaalde drempel

valt. De schakeling verbruikt 10 μA is standby mode bij een voedingsspanning van 12 V. Het intern blokschema met de aansluitgegevens is getekend in figuur 6/6.18.5-15.

In figuur 6/6.18.5-16 is het standaard-schema rond de MEM4962 getekend. Met de potentiometer van 5 MΩ kan de gevoeligheid ingesteld worden.



Figuur 6/6.18.5-15: Aansluitgegevens en intern blokschema van de MEM 4962.



Figuur 6/6.18.5-16: Standaard schakeling rond de MEM4962.

De MEM 4962 heeft vier werkingsmodi:

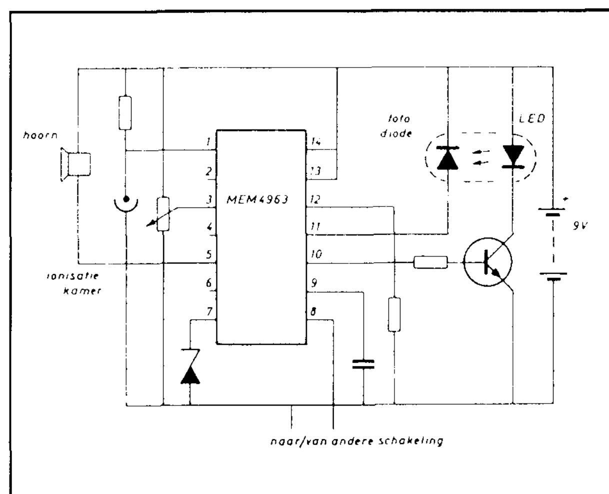
- Stand-by
  Dit gebeurt als V1<V3 en V11<V13. De oscillator is uitgeschakeld en de alarm-uitgang is "L".
- Alarm
  Dit gebeurt als V1>V3 en V11<V13. De oscillator is uitgeschakeld en de alarm-uitgang is "H".
- Low battery
  Dit gebeurt als V1<V3 en V11>V13. De oscillator is ingeschakeld en de alarm-uitgang wordt intermitterend "L" en "H" gestuurd met een duty-cycle van 1/1.500 en met een frequentie die gegeven wordt door 8*RC.
- Low battery alarm
  Dit gebeurt als V1>V3 en V11>V13. De oscillator is ingeschakeld en de alarm-uitgang is "H".

MEM4963

Door dezelfde fabrikant wordt ook de MEM4963 in de handel gebracht. Op dit IC kan zowel een enkelvoudige ionisatie-kamer als een enkelvoudige optische sensor worden aangesloten. Op deze manier kan men een brandalarm ontwerpen, dat optimaal gevoelig is voor allerlei soorten van rook en roet. In figuur 6/6.18.5-17 is de standaard schakeling rond dit IC getekend. Bij gebruik van een 9 V batterij trekt de schakeling om de 10 seconde slechts 150 μA stroom. Via pen 8 kan de schakeling met andere identieke detectoren worden verbonden. Als één schakeling een alarm detecteert worden de HOORN-uitgangen van alle schakelingen geactiveerd. In een alarmsituatie wordt het onderstaande prioriteitenschema aangehouden:

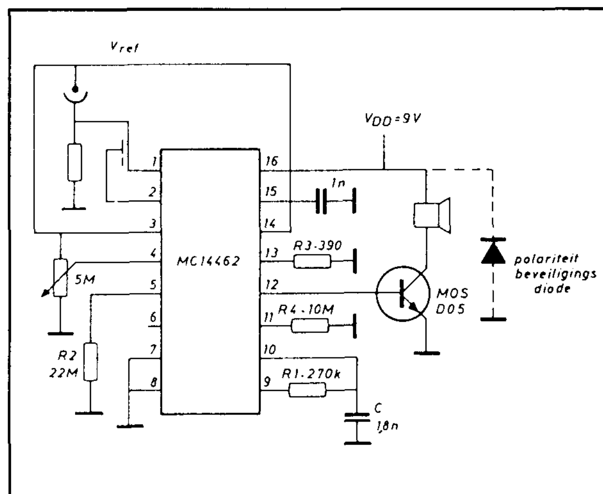
- plaatselijke rookontwikkeling bij de betreffende detector;
- rookontwikkeling op een afstand bij een andere detector;
- te lage batterijspanning;
- stand-by.

Het alarmsignaal voor te lage batterijspanning bestaat uit 20 ms brede impulsen die om de 40 seconde de hoorn van de betreffende schakeling aansturen. Bij rookontwikkeling op afstand levert het IC elke 0,1 seconde een toontje met een duur van 20 ms. Bij plaatselijke rookontwikkeling zal de hoorn continu gestuurd worden.



Figuur 6/6.18.5-17: Standaard schema rond de MEM4963.

schakelingen zijn bedoeld voor samenwerking met een enkelvoudige ionisatiekamer. Bij levering zijn de pennen 1 en 2 door middel van een draadbrug kortgesloten. Deze draadbrug mag alleen verwijderd worden nadat het IC in de print is gemonteerd. De schakelingen verbruiken in de normale wachtmodus slechts 2 µA uit een batterijspanning van 9 V. De maximale uitgangsstroom op pen 12 bedraagt slechts 12 mA, zodat voor het aansturen van een sirene een extra transistor noodzakelijk is.



Figuur 6/6.18.5-18: Het basisschema rond de MC14461 en MC14462.

MC14461 en MC14462

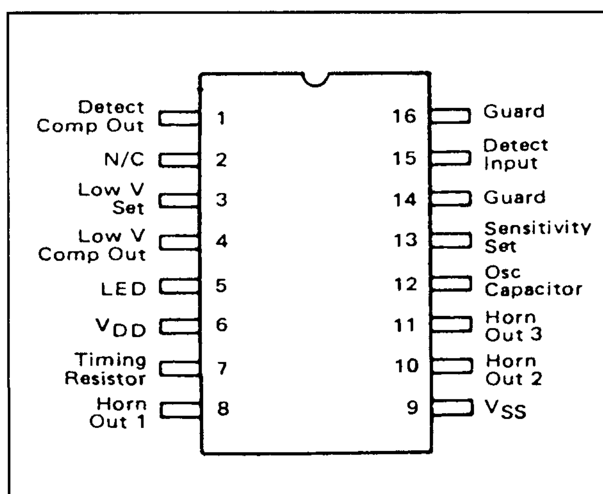
Twee vrijwel identieke IC's van Motorola, die alleen verschillen in hun ingangstrappen. De 14461 heeft een zeer hoogohmige ingangstrap, voorzien van beveiligingsschakelingen die raad weten met elektrostatische ladingen, die zich op de centrale elektrode van de ionisatiekamer zouden kunnen opstapelen. De 14462 heeft een niet beschermde ingangstrap. In figuur 6/6.18.5-18 is het basisschema rond deze schakelingen getekend. De

MC14466, MC14467, MC14468

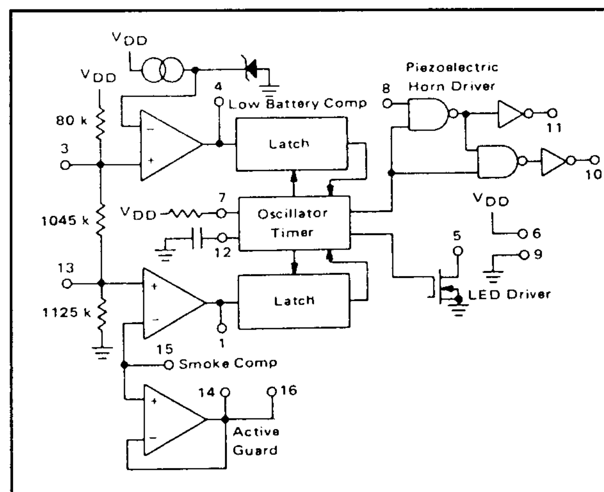
Ook deze drie schakelingen worden door Motorola in de handel gebracht en zijn vrijwel identiek.

De MC14466 is ontwikkeld voor toepassing in batterijgevoede rookmelders met ionisatiekamer. Het IC bevat alle noodzakelijke schakelingen om met een minimum aan externe componenten een functioneel apparaat samen te stellen. De schakeling heeft twee uitgangen. De eerste stuurt een piëzo-ceramische resonator

als alarm, de tweede een LED die de status van de schakeling aangeeft. De verbinding tussen ionisatiekamer en IC kan tamelijk lang zijn, omdat het IC over een guarded-ingang beschikt. Het ingangssignaal van de kamer wordt gebufferd en weer ter beschikking gesteld. Het gebufferde signaal wordt gebruikt om de afscherming van de kabel te voeden. Tussen centrale ader en afscherming staat dus een verwaarloosbaar spanningsverschil, zodat de capacitieve impedantie van de kabel wordt uitgeschakeld en geen belasting vormt voor de zeer hoogohmige ionisatiekamer. Door de zeer hoogohmige CMOS-ingang op pen 15 is de MC14466 zeer gevoelig voor statische ladingen. De MC14466 wordt geleverd met de pennen 14, 15 en 16 galvanisch doorverbonden door middel van een metalen stripje. Na verwijdering van dit stripje moet men het IC met de grootst mogelijke omzichtigheid behandelen.
In de figuren 6/6.18.5-19 en -20 worden de aansluitgegevens en het intern blokschema van de MC14466 gegeven.



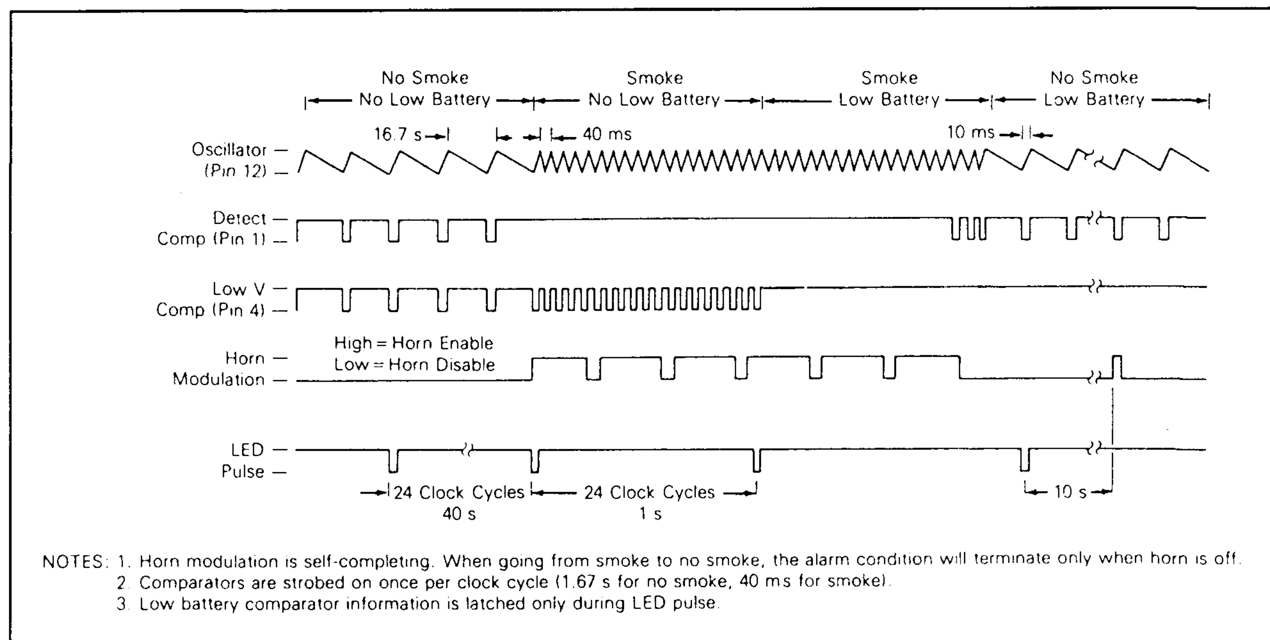
Figuur 6/6.18.5-19: Aansluitgegevens van de MC14466.



Figuur 6/6.18.5-20: Intern blokschema van de MC14466.

De interne oscillator van de MC14466 werkt met een periode van 1,67 s gedurende de rustfase. Na iedere periode wordt de voedingsspanning even aan de interne schakelingen van het IC aangeboden. Er wordt dan gemeten of de ionisatiekamer een signaal afgeeft dat duidt op de detectie van rook. Iedere 24 perioden word de spanning van de batterij gecontroleerd door deze te vergelijken met de spanning over een interne zenerdiode. Als rook wordt gedetecteerd wordt de periode van de interne oscillator opgevoerd tot 40 ms. De alarmuitgang wordt vrijgegeven, zodat de piëzo-ceramische zoemer wordt geactiveerd.
De zoemer wordt gestuurd met een puls/pause-verhouding van 200 ms /40 ms. De LED-uitgang wordt bovendien gestuurd met een frequentie van 1 Hz. Het spanningsverschil tussen de uitgang van de ionisatiekamer en de guard-uitgangen van het IC bedraagt maximaal 100 mV. De drempels voor het detecteren van een alarm en een te lage batterijspanning worden intern ingesteld door middel van spanningsdelers.

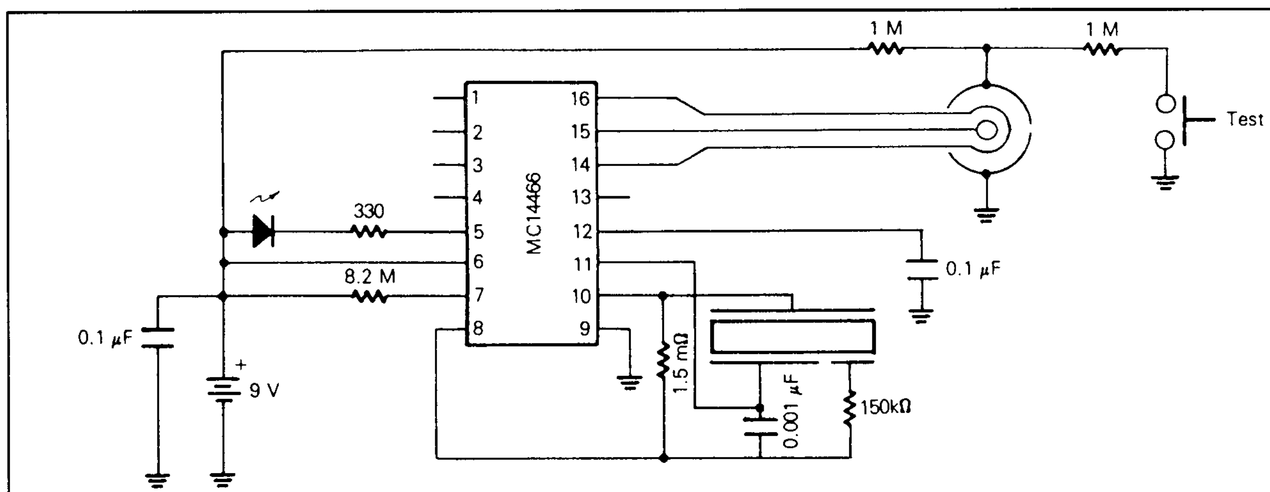
6.18 Sensor-IC's



Figuur 6/6.18.5-21: Het timingdiagram van een volledige werkingscyclus van de MC14466.

Beide drempels kunnen echter extern aangepast worden door weerstanden te schakelen tussen de pennen 3 en 13 naar de massa of de voeding. Door pen 12 met de massa te verbinden wordt de schakeling continu onder spanning gezet, zodat het mogelijk is beide drempelspanningen experimenteel op de gewenste waarde in te stellen. De batterij wordt getest door om de 40 s gedurende 10 ms een ontlaadstroom van 10 mA uit de batterij te onttrekken. Deze stroom vloeit af via de LED. Gebruikt men geen LED, dan moet men dit onderdeel vervangen door een weerstand, zodat de batterijtest onder de gestelde condities doorgang kan vinden. Dank zij deze maatregelen verbruikt de schakeling slechts 9 µA bij een voedingsspanning van +9 V. In figuur 6/6.18.5-21 is de volledige timing van één werkingscyclus de MC14466 getekend. Figuur 6/6.18.5-22 geeft het door de fabrikant voorgeschreven schema. Duidelijk blijkt hieruit hoe de centrale elektrode van de ionisatiekamer met een afgeschermde kabel verbonden moet worden met de ingangen 14, 15 en 16 van het IC. Door de drukknop "TEST" kan men net doen alsof de ionisatiekamer rook heeft gedetecteerd. Op deze manier ontstaat een realistische mogelijkheid voor het testen van de werking van de schakeling. De MC14467 is volledig vergelijkbaar met de MC14466. Het enige verschil is dat de MC14467 is voorzien van beveiligingsdioden aan de zeer hoogohmige ingang 15. Daardoor is dit IC veel minder gevoelig voor statische ladingen tijdens het transport en de montage. Ook de MC14468 is in principe vergelijkbaar met de MC1446 en MC14467. Het enige verschil is dat de MC14468 beschikt over een STROBE-ingang op pen 4. Daarnaast is pen 2 nu in gebruik en wel als "I/O". Met deze pen kan men tot 40 identieke schakelingen parallel schakelen voor gemeenschappelijke signalisering. Bovendien bezit de MC14468 een power-on reset, die valse alarmen door triggering bij het aansluiten van de voedingsspanning uitsluit.

6.18 Sensor-IC's

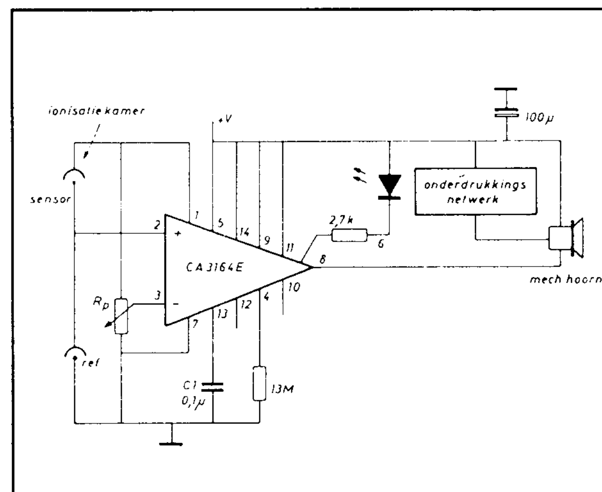


Figuur 6/6.18.5-22: Het door Motorola voorgeschreven schema rond de MC14466.

TA10451 en CA3164E

Dit zijn twee volledig identieke IC's van RCA. De TA-code was de naam waaronder de eerste testreeks van dit IC de wereld werd ingestuurd. Toen bleek dat de schakeling aan alle specificaties voldeed werd de codering veranderd in CA3164E. Dit IC is een BiMOS-schakeling die ontworpen is voor het besturen van differentiële ionisatiekamers. Dank zij de BiMOS-technologie zijn de ingangen extreem hoogimpedant en trekt het IC een ingangsstroom van slechts 1 pA. De schakeling kan gevoed worden uit een batterij van 9 V en verbruikt dan niet meer dan 8 µA. Zoals uit het voorbeeldschema van figuur 6/6.18.5-23 blijkt, wordt de spanning op het knooppunt tussen beide ionisatiekamers vergeleken met een instelbare drempel.

Op deze manier kan men de alarmgevoeligheid instellen met de potentiometer Rp. De schakeling stuurt een alarm-LED en een mechanische hoorn aan. Als de batterijspanning onder een bepaalde drempel zakt, zal de schakeling de hoorn en de LED intermitterend sturen. De condensator C1 moet een polycarbonaat exemplaar zijn of soortgelijke uitvoering met een eigen isolatieweerstand die groter is dan 10 GΩ.



Figuur 6/6.18.5-23: Het door de fabrikant voorgeschreven toepassingschema rond de CA3164E.

Taguchi-sensoren

Principiële werking

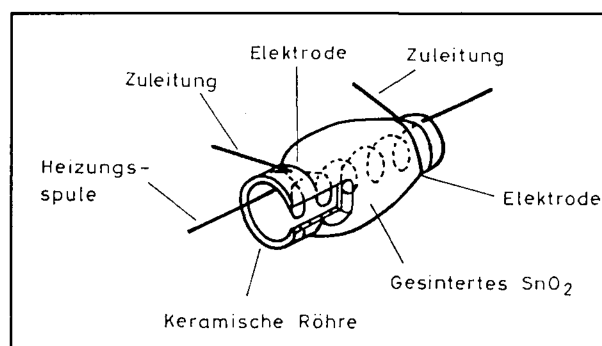
Taguchi-sensoren werken volgens een principe dat door de Japanse wetenschapper Taguchi werd ontdekt. Deze sensoren

worden dan ook "TGS" genoemd, letterwoord voor "Taguchi Gas Sensor". Als men een laagje metaaloxyde met N-materiaal doteert en dit laagje tot 100 à 300 °C verwarmt, dan stelt men vast dat de weerstand van de laag afhankelijk wordt van de samenstelling van de lucht. Dit verschijnsel wordt veroorzaakt doordat het hete laagje zuurstof kan absorberen uit de omringende lucht. De mate van absorbtie wordt echter verstoord als er in de lucht verontreinigde gassen aanwezig zijn. Dit verschijnsel wordt het "NPC-effect" genoemd, afkorting van "Negative Pollution Coëfficiënt". Hoe meer verontreiniging in de lucht, hoe lager de weerstand van het laagje wordt. De weerstandsvariatie tussen zuivere lucht en verontreinigde lucht kan een factor 20 bedragen. Afhankelijk van het soort oxyde, de mate van dotering en de werktemperatuur kan men Taguchi-sensoren maken die het gevoeligst zijn voor een specifiek gas. Er zijn sensoren in de handel voor koolmonoxyde, ozon, alcohol, methaan, buthaan, etc.

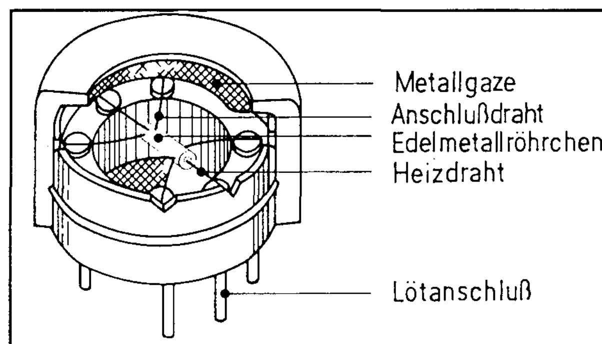
Belangrijke opmerking
Vanwege de grote absorbtiecapaciteit van de sensor is deze ook zeer gevoelig voor gassen, die men niet wil meten. Een van de grote boosdoeners is waterdamp en men moet dan ook speciale maatregelen treffen om de in koude toestand geabsorbeerde watermoleculen te verwijderen. Een van de voor de hand liggende oplossingen is de sensor continu, dus dag en nacht, met de voedingsspanning verbonden te houden.

De sensor met enkele gloeidraad
De meest eenvoudige Taguchi-sensor is getekend in figuur 6/6.18.5-24. De sensor is opgebouwd rond een verwarmingselement met een nikkelchroom gloeidraad.

Rond dit element zit een ceramisch buisje, waarop de gevoelige laag is opgedampt. Beide uiteinden van deze laag worden met twee (of vier) elektroden verbonden met de pennen van de behuizing. Men kiest meestal voor vier elektroden, omdat dit een mechanisch steviger constructie waarborgt.



Figuur 6/6.18.5-24: De samenstelling van een Taguchi-detector met enkele gloeidraad.



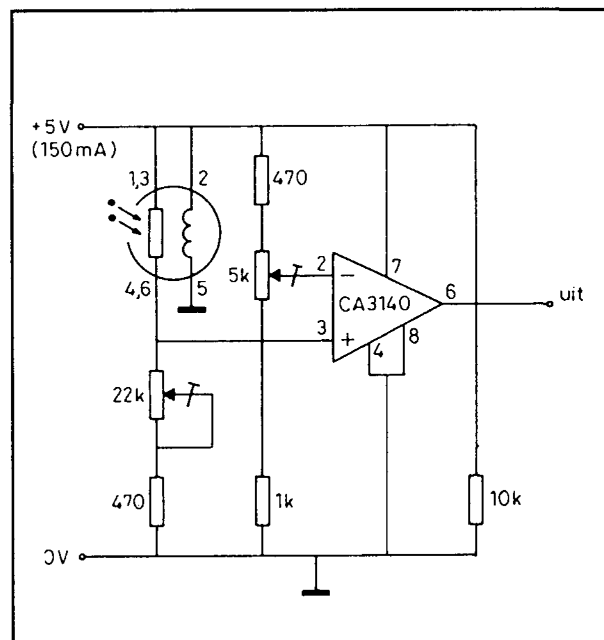
Figuur 6/6.18.5-25: De praktische uitvoering van een Taguchi-sensor met enkelvoudige gloeidraad.

De praktische uitvoeringsvorm van een Taguchi-sensor met enkelvoudige gloeidraad is getekend in figuur 6/6.18.5-25. Het eigenlijke sensorelement is opgehangen in een cylindervormige behuizing, die aan de boven- en onderzijde open is.

6.18 Sensor-IC's

Op deze manier wordt gegarandeerd dat de te meten lucht vrij rond de sensor kan stromen. Vaak is in de behuizing een laagje actieve koolstof aangebracht, die de sensor minder gevoelig maakt voor stikstofverbindingen zoals NO en NO_2. Dit zijn namelijk onschadelijke gassen, waarvan het niet de bedoeling is de concentratie te meten. De meeste Taguchi-sensoren met enkele gloeidraad hebben zes aansluitpennetjes, waarvan twee bedoeld zijn voor het voeden van de gloeidraad en de vier overige paarsgewijs met de uiteinden van de sensor verbonden zijn.

In figuur 6/6.18.5-26 is het basisprincipe van het toepassen van een Taguchi-sensor met enkele gloeidraad getekend. Zoals te verwachten valt, neemt men het sensorelement op in een serieschakeling met een vaste weerstand. Het sensorelement is niet gepoold, de werking is dus onafhankelijk van de stroomrichting. De spanning op het knooppunt is een maat voor de verontreiniging van de lucht. Deze spanning wordt in een als comparator geschakelde operationele versterker vergeleken met een referentiespanning. Met de twee instelpotentiometers kan men de gevoeligheid van het systeem instellen. De gloeidraad wordt meestal gevoed met 5 V. Dat kan wissel- of gelijkspanning zijn. Sensoren met enkele gloeidraad zijn bedoeld voor continu-bedrijf. De gloeidraad met dus dag en nacht onder spanning blijven staan. Bovendien moet deze spanning zeer constant zijn, omdat de weerstand van het sensorelement ook zeer afhankelijk is van de temperatuur. Vandaar dat men in de praktijk meestal met een gestabiliseerde gelijkspanning voedt. Compensatie voor schommelingen in de omgevingstemperatuur zij echter niet noodzakelijk, omdat het element op een werktemperatuur van ongeveer 300 °C staat.

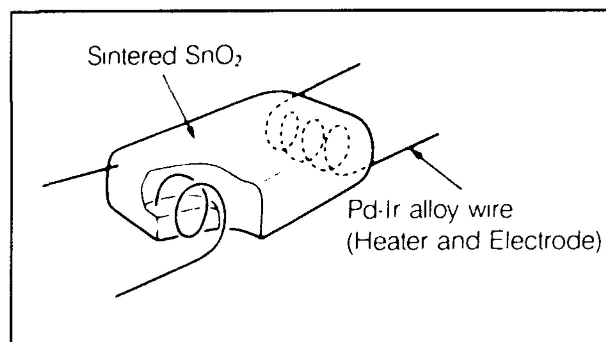


Figuur 6/6.18.5-26: De basisschakeling rond een Taguchi-sensor met enkele gloeidraad.

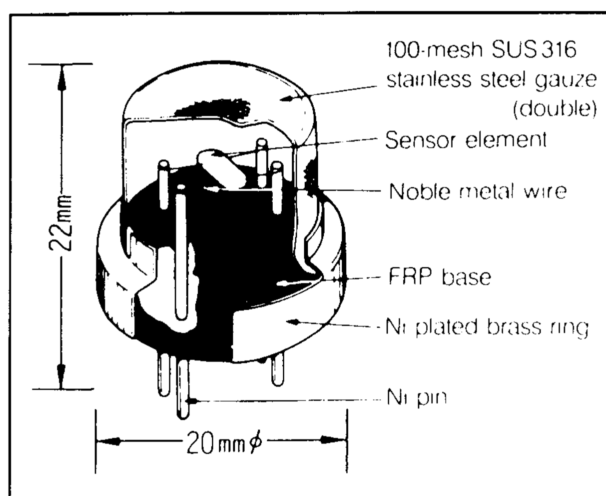
De Taguchi-sensor met dubbele gloeidraad

Voor sommige toepassingen worden sensoren gemaakt met twee gloeidraden. De opbouw van een dergelijke sensor is geschetst in figuur 6/6.18.5-27. De twee gloeidraden zijn nu ingegoten in een blokje basismateriaal. Het gevolg is dat de thermische tijdconstante veel groter wordt. De sensor is minder gevoelig voor variaties in gloeidraadspanning en reageert trager op plotselinge verontreinigingen van de lucht. In figuur 6/6.18.5-28 is de mechanische constructie van een dergelijke sensor getekend. De behuizing heeft nu meestal slechts vier aansluitpennen, die verbonden zijn met de twee gloeidraden. De sensor hangt als het ware vrij in de lucht tussen deze vier pennen, zodat de omgevingslucht de sensor goed kan bereiken.

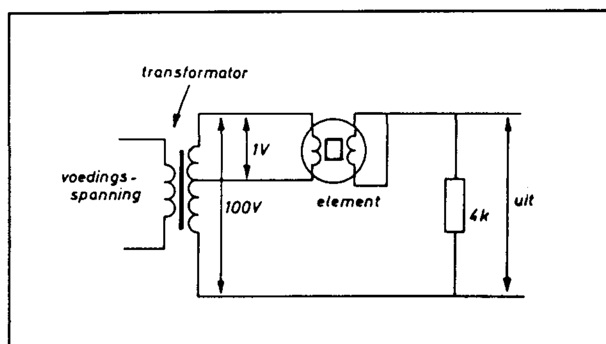
6.18 Sensor-IC's



Figuur 6/6.18.5-27: De samenstelling van een Taguchi-sensor met twee gloeidraden.



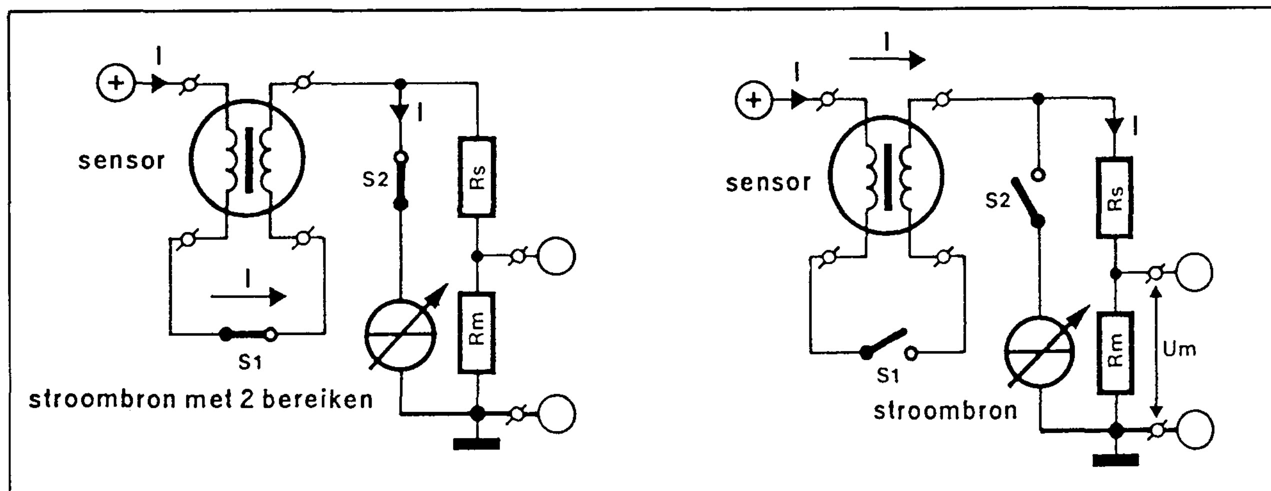
Figuur 6/6.18.5-28: De mechanische constructie van een sensor met twee gloeidraden.



Figuur 6/6.18.5-29: Het basisschema rond een Taguchi-sensor met twee gloeidraden.

De aansluitingen van de gloeidraden hebben bij deze sensoren een dubbele functie. Enerzijds voeden zij de gloeidraden, anderzijds vormen zij de meetpunten waartussen met de weerstand van de sensor kan meten. Een en ander heeft wel tot gevolg dat men ingewikkelder schakelingen nodig heeft om de sensor uit te lezen. In de meeste gevallen moet men de voedingsspanning van de gloeidraden uitschakelen als men de sensorweerstand wil meten. In figuur 6/6.18.5-29 is het basisschema rond een sensor met twee gloeidraden getekend.
Sensoren met dubbele gloeidraad kunnen worden toegepast in batterijgevoede apparatuur, die alleen wordt ingeschakeld als men een meting moet verrichten. Er wordt dan onderstaande meetcyclus gestart:
- regenereren;
- bedrijfstemperatuur instellen;
- meten.

Het principeschema van een dergelijke meetcyclus is getekend in figuur 6/6.18.5-30.
De twee gloeidraden worden via een elektronische schakelaar S1 in serie geschakeld. Via een tweede elektronische schakelaar S2 worden de gloeidraden verbonden met een stroombron met twee bereiken. De drie fasen in een meetcyclus verlopen als volgt:
- Regenereren
  De twee schakelaars sluiten en de stroombron wordt ingesteld op een grote stroom, waardoor het sensorelement tot een hoge temperatuur wordt verhit. In deze fase wordt het sensorelement "schoongestookt". Watermoleculen, die zich in het koude element genesteld hebben, worden uit het element verdampt.



Figuur 6/6.18.5-30: De werkvolgorde voor het uitlezen van een batterijgevoede Taguchi-sensor met dubbele gloeidraad.

- Bedrijfstemperatuur instellen
  In de tweede fase wordt de stroombron op een lagere stroom ingesteld, waardoor het sensorelement afkoelt tot de normale werktemperatuur. Deze fase duurt ongeveer anderhalve minuut.
- Meten
  In de derde fase worden de twee elektronische schakelaars geopend. De stroom I moet nu via het element afvloeien, over de weerstand Rm wordt een spanning opgebouwd die recht evenredig is met de verontreiniging in de lucht. Deze spanning Um wordt gemeten met een geijkte meter.

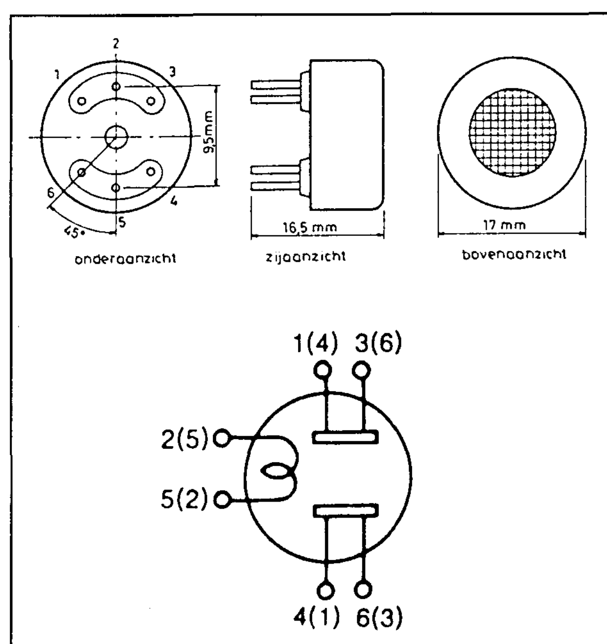
Ook sensoren met dubbele gloeidraad kunnen uiteraard gebruikt worden in apparatuur die steeds onder spanning staat. Het is dan niet noodzakelijk de beschreven ingewikkelde cyclus te doorlopen.

Inbranden van nieuwe sensoren
Een nieuwe, ongebruikte Taguchi-sensor is verzadigd met allerlei gassen, waarvan waterdamp wel de voornaamste is. Alvorens men een dergelijke nieuwe sensor kan gebruiken moet deze "ingebrand" worden. Dat betekent dat men de gloeidraden van de kale sensor drie dagen op de bedrijfsspanning moet aansluiten, waardoor alle gassen verdampen en de sensor klaar is voor gebruik. Hetzelfde verhaal is van toepassing als men een sensor lang niet gebruikt heeft. Ook dat wordt het ceramisch materiaal verzadigd met allerlei gassen en moet men de sensor weer inbranden. Vandaar dat wordt aanbevolen schakelingen zo te ontwerpen, dat de gloeidraad continu onder spanning blijft staan.

Taguchi-sensoren met enkele gloeidraad

Inleiding
De meeste Taguchi-sensoren die op de markt worden gebracht werken met enkele gloeidraad. Het is voornamelijk de fabrikant Figaro, die zich in de productie van dergelijke onderdelen gespecialiseerd heeft. Dergelijke sensoren worden gekenmerkt door de typecodering TGSxxx, waarbij xxx staat voor een type-

nummer. De sensoren onderscheiden zich van elkaar in hun specifieke gevoeligheden voor verschillende soorten gas. Alle sensoren van de TGS-reeks met enkele gloeidraad hebben een identieke behuizing en identieke aansluitgegevens. Deze zijn samengevat in figuur 6/6.18.5-31.



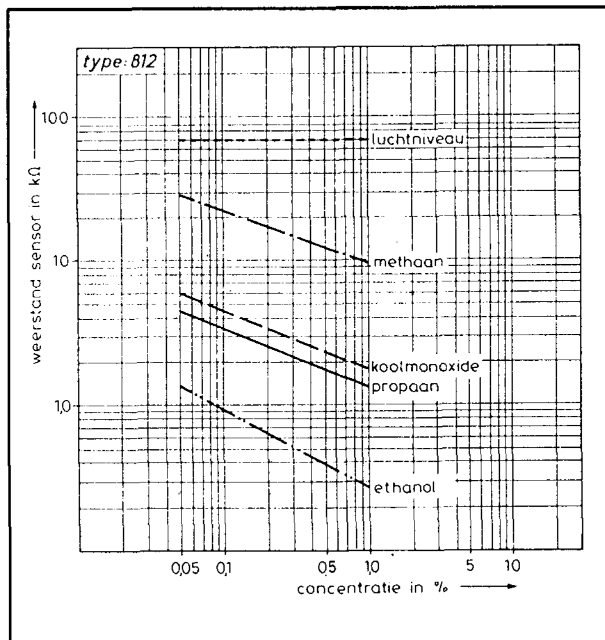
Figuur 6/6.18.5-31: De aansluitgegevens en de behuizing van de TGSxxx sensoren van Figaro met enkele gloeidraad.

De TGS-typen van Figaro

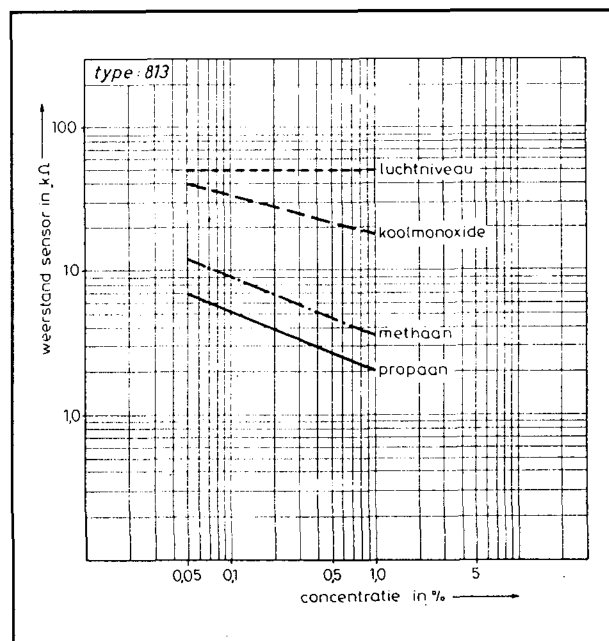
Onderstaand wordt een kort overzicht gegeven van de specificaties van de TGSxxx sensoren met enkele gloeidraad, die door Figaro geleverd worden.

- TGS109
  De TGS109 is gevoelig voor de meeste koolstofverbindingen. Hij is speciaal ontwikkeld voor de aardgas- en de auto-industrie. De gevoeligheid voor alcohol is echter minimaal.
- TGS590
  De TGS590 is gevoelig voor ozon in de lucht. De sensor is heel gevoelig, met als gevolg dat men uiterste zorg moet besteden aan de stabilisering van de gloei- en sensorspanningen. Nadeel is dat het element ook gevoelig is voor stikstofverbindingen, zoals NO en NO_2. Vandaar dat een actief koolstoffilter is ingebouwd en dat de sensor alleen te gebruiken is in een vier-fasen meetcyclus:
  - regenereren;
  - werktemperatuur;
  - meten;
  - pause.
- TGS711
  De TGS711 is ontwikkeld voor het meten van CO-verontreinigingen tussen 50 en 500 ppm. Hij wordt gebruikt in industriële meetapparatuur.
- TGS712
  Ook de TGS712 is ontwikkeld voor het meten van CO-verontreinigingen tussen 20 en 200 ppm. Hij wordt voornamelijk toegepast in industriële meetapparatuur.
- TGS800
  De TGS800 is universeel inzetbaar voor het meten van waterstof, koolstofmonoxyde, methaan, ethanol en isobuthaan.
- TGS812
  De TGS812 is een goedkope Taguchi-sensor met enkele gloeidraad, die ontwikkeld is voor algemene toepassingen in niet-professionele apparatuur. De sensor is gevoelig voor zowat alle gassen, onder andere methaan, koolstofmonoxyde, isobuthaan, waterstof en ethanol. De sensor wordt bijvoorbeeld toegepast in alcoholtesters, brandalarmen en aan boord van schepen. Dit is een van de enige Taguchi-sensoren, die voor de doe-het-zelver beschikbaar is.

6.18 Sensor-IC's



Figuur 6/6.18.5-32: Gevoeligheidskarakteristiek van de TGS812 voor verschillende gassen.



Figuur 6/6.18.5-33: De gevoeligheid van de TGS813.

Diverse onderdelenhandelaren voeren deze sensor standaard in hun leveringspakket. In figuur 6/6.18.5-32 is de gevoeligheidskarakteristiek van deze sensor getekend.

- TGS813

  Ook de TGS813 is een goedkope Taguchi-sensor met enkele gloeidraad, die echter geoptimaliseerd werd voor het meten van de concentratie koolstofmonoxyde in de lucht. Maar daarnaast is deze sensor ook gevoelig voor andere gassen zoals methaan en prophaan. Ook dit type is bij diverse zaken te koop. De gevoeligheidscurve van deze sensor is getekend in figuur 6/6.18.5-33.
- TGS814

  De TGS814 is een Taguchi-sensor met vergelijkbare eigenschappen als de TGS812. De gevoeligheid is echter geoptimaliseerd voor de detectie van ammoniakgas. De gevoeligheid voor waterstofgas is geminimaliseerd. De TGS814 wordt gebruikt bij industriële koelaggregaten voor het detecteren van ammoniaklekken.
- TGS815

  De TGS815 heeft vergelijkbare eigenschappen als de TGS812. De gevoeligheid is echter geoptimaliseerd voor de detectie van brandbare gassen zoals methaan, prophaan en buthaan.
- TGS816

  De TGS816 is een Taguchi-sensor met vergelijkbare eigenschappen als de TGS812. De gevoeligheid is echter geoptimaliseerd voor de detectie van brandbare gassen zoals prophaan, methaan en buthaan. De gevoeligheid voor koolstofmonoxyde is geminimaliseerd.
- TGS817

  De TGS817 is geoptimaliseerd voor de detectie van gassen van organische oplosmiddelen zoals alcohol en freon.

Daarnaast is de TGS 817 ook gevoelig voor koolstofmonoxyde in het bereik van 500 tot 1.000 ppm.

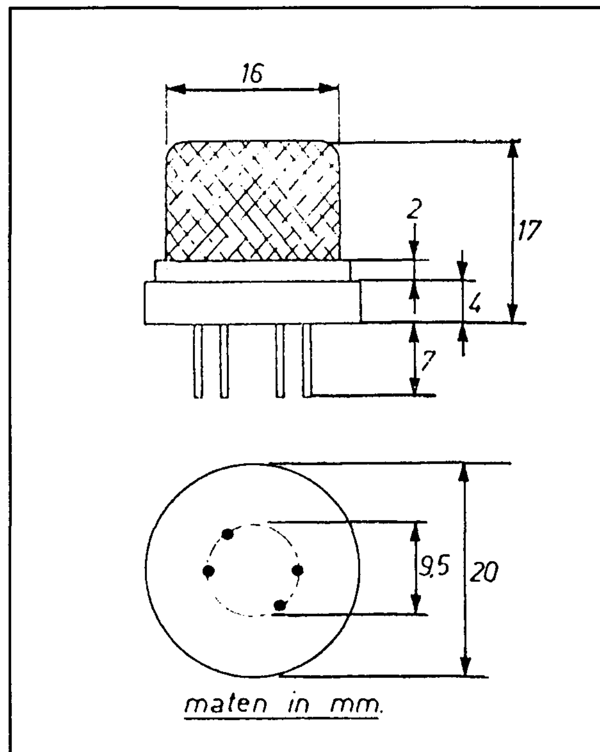
- TGS911
  De TGS911 is geoptimaliseerd voor de detectie van licht ontvlambare gassen.

De typen van TGS
Naast Figaro levert ook TGS enkele sensoren met enkele gloeidraad. De meest bekende hiervan worden in het kort beschreven.

- BM-10
  De BM-10 is een Taguchi-sensor met enkele gloeidraad, die speciaal ontworpen is voor de detectie van brandbare gassen. De gevoeligheid is geoptimaliseerd voor methaan.
- CM-10
  De CM-10 is vergelijkbaar met de BM-10, met dit verschil dat de sensor gevoeliger is voor koolstofmonoxyde.
- CM-11
  De CM-11 is gevoelig is voor alle verontreinigende gassen in de lucht. Hij is universeel inzetbaar voor CO-alarmen, brandmelders, etc.
- BM-12
  De BM-12 is voornamelijk gevoelig voor methaangas. Daarnaast is deze sensor ook nog gevoelig voor koolstofmonoxyde, isobuthaan, waterstof en ethanol.

Taguchi-sensoren met dubbele gloeidraad

Inleiding
Zowel Figaro als TGS leveren enige Taguchi-sensoren met dubbele gloeidraad. Ook nu in het kort een overzicht van de meeste bekende exemplaren.



Figuur 6/6.18.5-34: De behuizing van de sensoren met dubbele gloeidraad.

- CL-10
  De CL-10 van TGS is een Taguchi-sensor met dubbele gloeidraad, die speciaal ontworpen is voor de detectie van koolstofmonoxyde. De aansluitgegevens van de CL-10 zijn geschetst in figuur 6/6.18.5-34.
- H-10
  De H-10 van TGS is speciaal ontworpen voor de detectie van brandbare gassen. De sensor is zeer gevoelig, maar heeft een vrij trage reactietijd (ongeveer tien minuten). De sensor is speciaal ontworpen voor continu ingeschakelde alarmmelders. De aansluitgegevens zijn identiek aan deze van de CL-10.
- TGS203
  De TGS203 van Figaro is speciaal geoptimaliseerd voor het detecteren van CO-verontreiniging in de lucht.

De behuizing is voorzien van actieve koolstoffilters, die de overige gassen absorberen voordat zij het sensorelement kunnen beïnvloeden. Deze koolstoffilters moeten echter regelmatig gereinigd worden. Vandaar dat wordt aanbevolen de TGS203 intermitterend te schakelen: 60 s een gloeispanning van 0,8 V (regenereren), nadien 90 s een gloeispanning van 0,25 V (werktemperatuur). Nadien kan de sensor uitgelezen worden. Vanwege de vrij lage werktemperatuur onder de 100 °C is het noodzakelijk de variaties in omgevingstemperatuur te compenseren. Meestal wordt hiervoor een NTC-schakeling toegepast. De TGS203 zit in dezelfde behuizing als de CL-10 en de H-10.

Voorbeeldschakelingen met Taguchi-sensoren

Inleiding

Taguchi-sensoren zijn ideale onderdelen voor de zelfbouwer. De werking van het onderdeel is gemakkelijk te doorgronden, het aansturen en uitlezen van de sensoren vereist eenvoudige elektronica. In de volgende paragrafen wordt een groot aantal schema's beschreven, bij elkaar verzameld uit de applicaties van de fabrikanten en uit de internationale vakpers.

CO-meter met de TGS711

In figuur 6/6.18.5-35 wordt een eenvoudig schema gegeven van een CO-gas meter rond de TGS711. Het schema is door de fabrikant Figaro ontworpen. De gloeidraad van de sensor wordt gevoed uit een regelbare spanning. Bij het inschakelen van de voedingsspanning zorgt de tijdvertraging rond IC3 ervoor, dat de gloeidraad gedurende een door de condensator van 33 µF bepaalde tijd geregenereerd wordt. De gloeidraadspanning wordt geregeld door de transistor T2, die weer gestuurd wordt uit de OTA IC1. Om het geheel stabiel te laten werken wordt met behulp van IC4 een stabiele referentiespanning van 2 V gegenereerd.

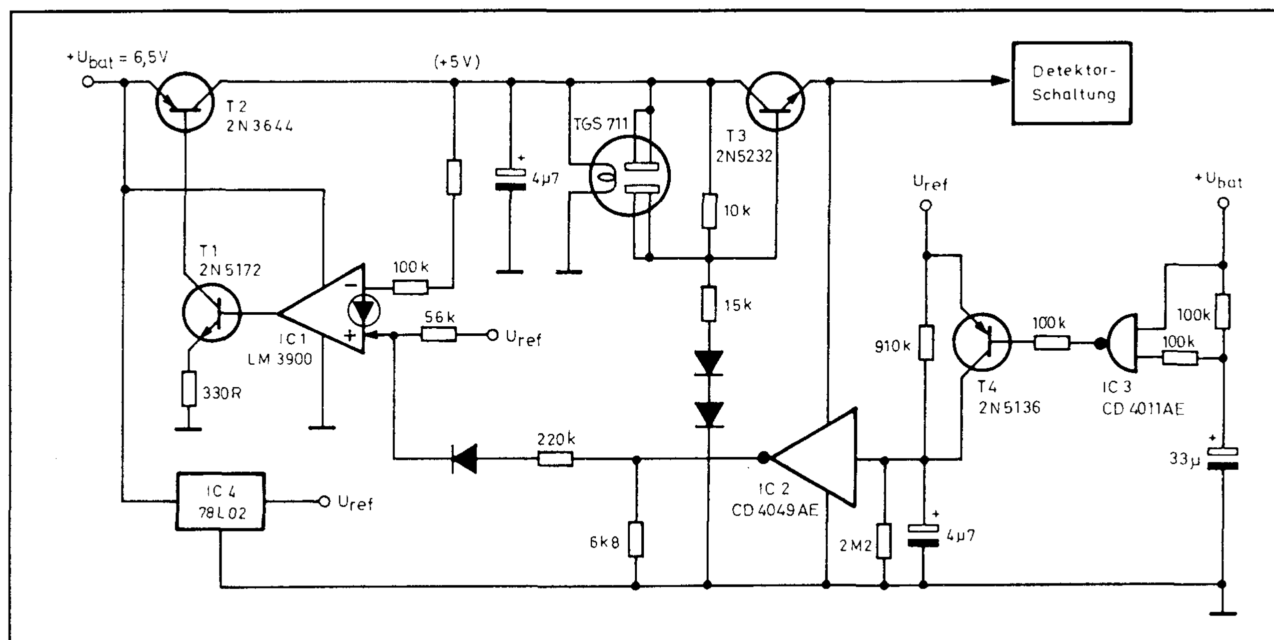
Praktische schakelingen rond de TGS812 en TGS813

Rond deze twee goedkope Taguchi-sensoren zijn een heleboel schakelingen ontworpen, waaruit onderstaand een selectie wordt gemaakt.

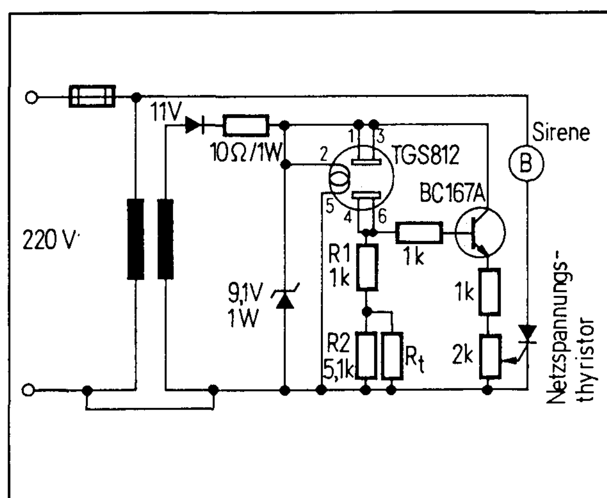
In figuur 6/6.18.5-36 wordt de TGS812 gebruikt in een eenvoudige brandmelder. De brandspanning van de gloeidraad wordt op een hogere waarde dan normaal ingesteld om de gevoeligheid voor de specifiek in deze toepassing te detecteren gassen te verhogen. De spanning op het knooppunt van de sensor en de weerstand R1 wordt via een transistor versterkt en stuurt de gate van de thyristor. Met de potentiometer in de gateleiding kan de gevoeligheid van de schakeling ingesteld worden. Als de schakeling afgaat wordt de thyristor gestuurd en deze zal de 220 V sirene continu aansturen.

De schakeling van figuur 6/6.18.5-37 is ontworpen voor inbouw in het motorcompartiment van boten. Het grootste deel van de schakeling maakt uit de variërende accuspanning een goed gestabiliseerde spanning voor het voeden van de sensor. Door de tijdvertraging in de basis van de transistor T3 wordt de gloeispanning van de sensor na het inschakelen enige tijd vergroot om het onderdeel te regenereren.

6.18 Sensor-IC's



Figuur 6/6.18.5-35: Een CO-detector met de TGS711 van Figaro.

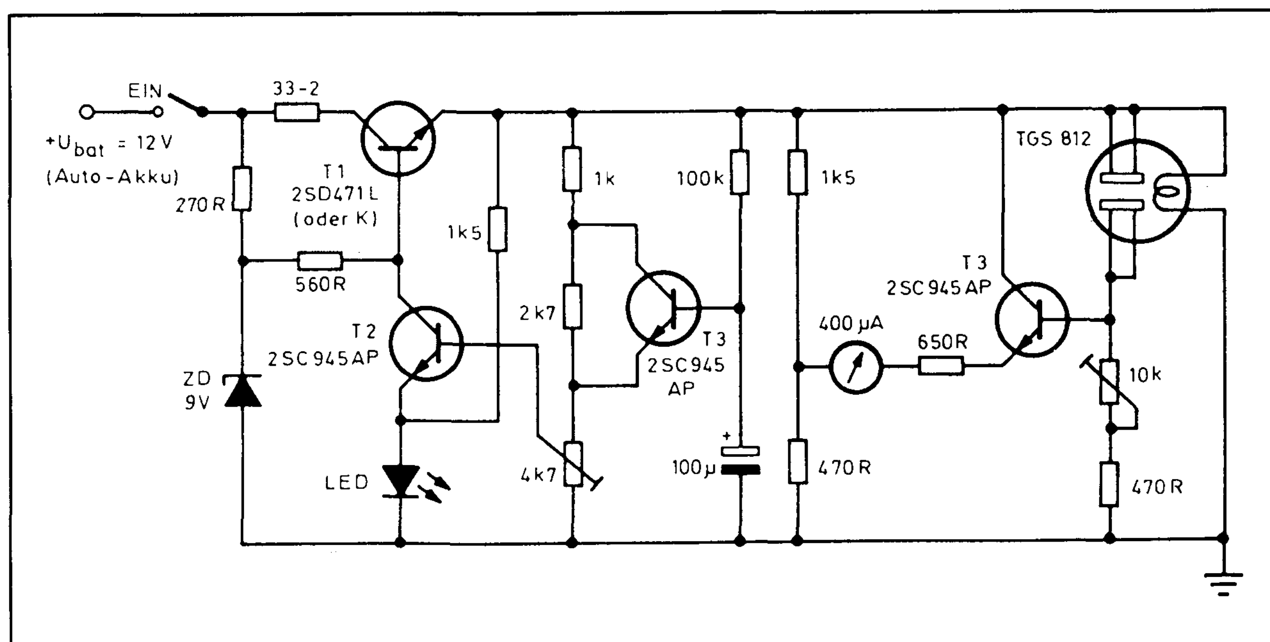


Figuur 6/6.18.5-36: De TGS812 gebruikt in een eenvoudige brandmelder, die rechtstreeks uit het 220 V net gevoed kan worden.

De uitlezing is een brugschakeling, waarbij de spanning op het knooppunt van sensor en potentiometer van 10 kΩ vergeleken wordt met een referentiespanning die geleverd word door de spanningsdeler van 1,5 kΩ en 470 Ω.

In de schakeling van figuur 6/6.18.5-38 wordt de TGS812 gebruikt als draagbare alcoholtester. De schakeling rond comparator IC2a controleert de batterijspanning en stuurt de rode LED D4 als deze te laag wordt. Uit de batterijspanning wordt door middel van IC3 de voedingsspanning van 5 V afgeleid. Uit deze spanning wordt vervolgens met de referentieschakeling IC1 een referentiespanning van ongeveer 2,5 V afgeleid. Deze wordt gebruikt voor het voeden van het sensorelement en het afleiden van enige referentiespanningen. De sensorspanning wordt in IC2b vergeleken met een referentiespanning die met P1 ingesteld wordt. Deze bepaalt het nulpunt van de meter, stelt met andere woorden een spanning in die overeen komt met 0 % verontreiniging in de lucht. De verschilspanning op de uitgang van IC2b stuurt twee comparatoren. In de bovenste (IC2c) wordt de verschilspanning vergeleken met een referentie (R8/R9).

6.18 Sensor-IC's



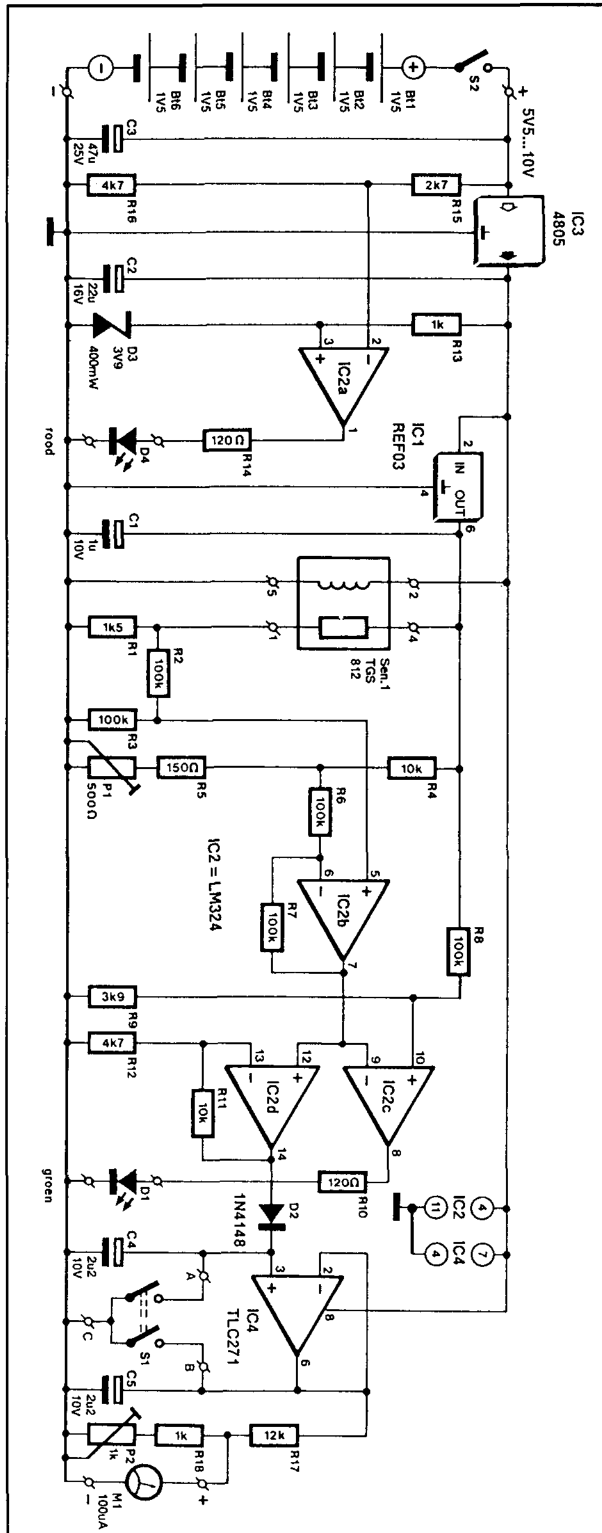
Figuur 6/6.18.5-37: De TGS812 in een accugevoede schakeling voor gebruik in de motorruimte van een boot.

Deze bepaalt wanneer de uitgangsspanning van de sensor, na het opwarmen, gestabiliseerd is op een waarde die binnen de meetgrenzen van de sensor valt. De LED D1 (klaar voor meting) licht dan op. Met IC2d wordt het verschilsignaal nog eens versterkt. Het versterkte signaal word gebruikt om de condensator C4 op te laden. Via de buffer belandt dit signaal over de condensator C5, waar het wordt gemeten. Met de schakelaar worden beide condensatoren ontladen, zodat een nieuwe meetcyclus kan starten.

Ook rond de TGS813 zijn een heleboel praktisch toe te passen schakelingen gepubliceerd.

In figuur 6/6.18.5-39 wordt de TGS813 gebruikt voor het activeren van een relais. Om de opwarmingsperiode te overbruggen wordt gebruik gemaakt van een als monostabiele multivibrator geschakelde 555. Deze levert, na het inschakelen van de voeding, een puls met een breedte van 1.400 ms. Deze zorgt via de poorten N1 en N2 dat het uitgangssignaal van de comparator CA3140 gedurende de instabiele opwarmingsfase van de sensor niet kan doordringen tot de relaistrap. In figuur 6/6.18.5-40 is een eenvoudige analoge verontreinigingsmeter getekend. De uitgangsspanning van de TGS813 wordt in een brugschakeling vergeleken met de spanning op de loper van de instelpotentiometer R8. Hiermee kan men de naald van de meter op geen uitslag afregelen in zuivere lucht. Door middel van de omschakelaar S2 kan men de spanning van de batterij testen. Figuur 6/6.18.5-41 geeft een schakeling met een geheugenfunctie. De comparator IC2 heeft nu een terugkoppeling onder de vorm van de diode D5. Als de sensor zoveel spanning afgeeft dat de comparatoruitgang naar "H" omklapt, zal deze hoge spanning via de diode teruggekoppeld worden naar de niet-inverterende ingang van IC2. Het gevolg is dat de uitgang van de comparator "H" blijft, ook al valt de sensorspanning onder de drempelwaarde. Het alarm kan gereset worden door het indrukken van S2.

6.18 Sensor-IC's



Figuur 6/6.18.5-38: De TGS812 gebruikt in een batterijgevoede alcoholmeter met analoge uitlezing.

Hierdoor gaat de niet-inverterende ingang naar de massa, de comparatoruitgang wordt "L" en de terugkoppeling via de diode D5 wordt verbroken.

Taguchi-processoren

Inleiding

De beschreven praktische schakelingen werken zonder uitzondering met Taguchi-sensoren met enkele gloeidraad. Dat is niet zonder reden, want de dubbele gloeidraad sensoren vereisen een tamelijk ingewikkelde besturing. Men moet immers steeds minstens drie fasen in iedere meetcyclus inlassen. Om dit probleem op te lossen heeft Figaro twee speciale IC ontwikkeld, die de volledige cyclusbesturing overnemen: De FIC5401 en de FIC5603. Beide schakelingen herbergen een eenvoudige processor, die de volledige timing van de sensorbesturing regelt.

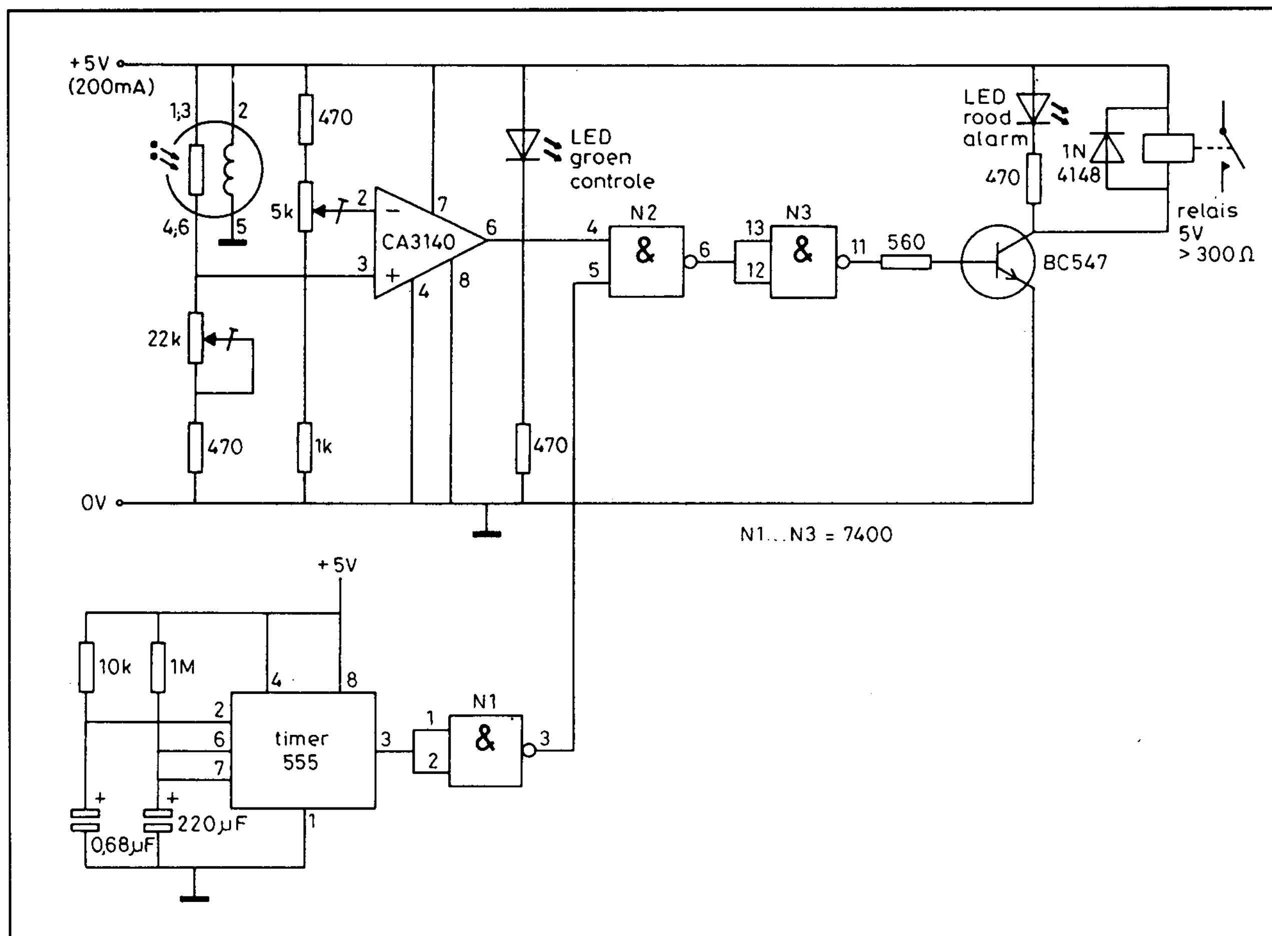
De FIC5401

De FIC5401 bestuurt de drie fasen van een meetcyclus:

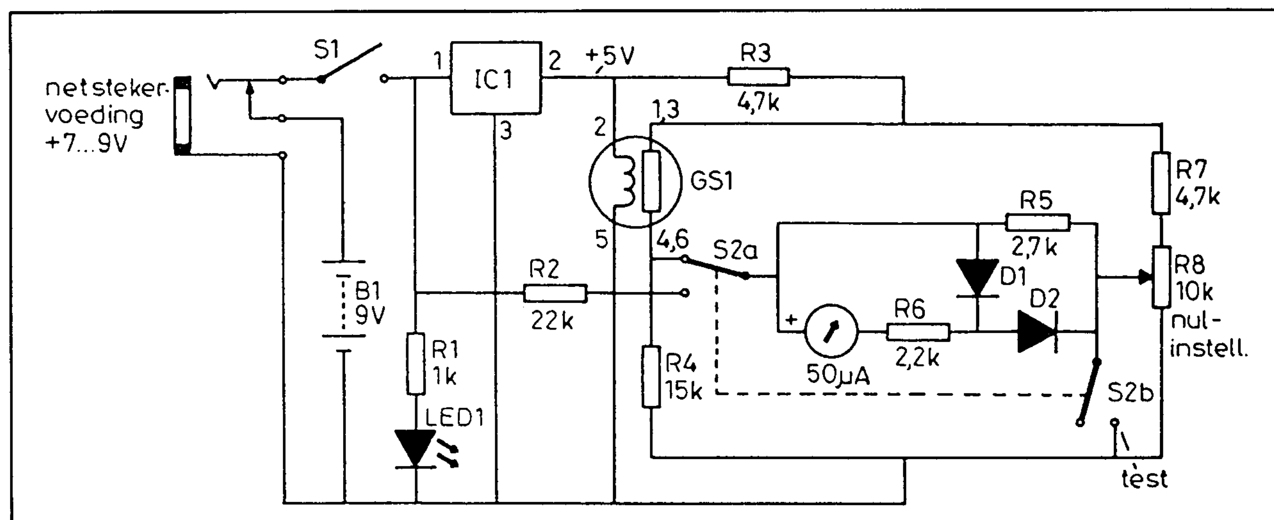
- regenereren;
- instellen werktemperatuur;
- uitlezen.

De schakeling bezit een 4 bit brede microprocessor met ingebrand bedrijfssysteem. De schakeling is in staat de invloed van de omgevingstemperatuur op de meting te compenseren en heeft uitgebreide alarm- en meldingsfuncties. De aansluitgegevens en het intern blokschema van deze schakeling zijn voorgesteld in de figuren 6/6.18.5-42 en -43. Het timingdiagram van figuur 6/6.18.5-44 beschrijft de cyclus van de FIC5401. Eerst wordt gedurende 60 s een grote stroom door de gloeidraden van de sensor gestuurd.

6.18 Sensor-IC's

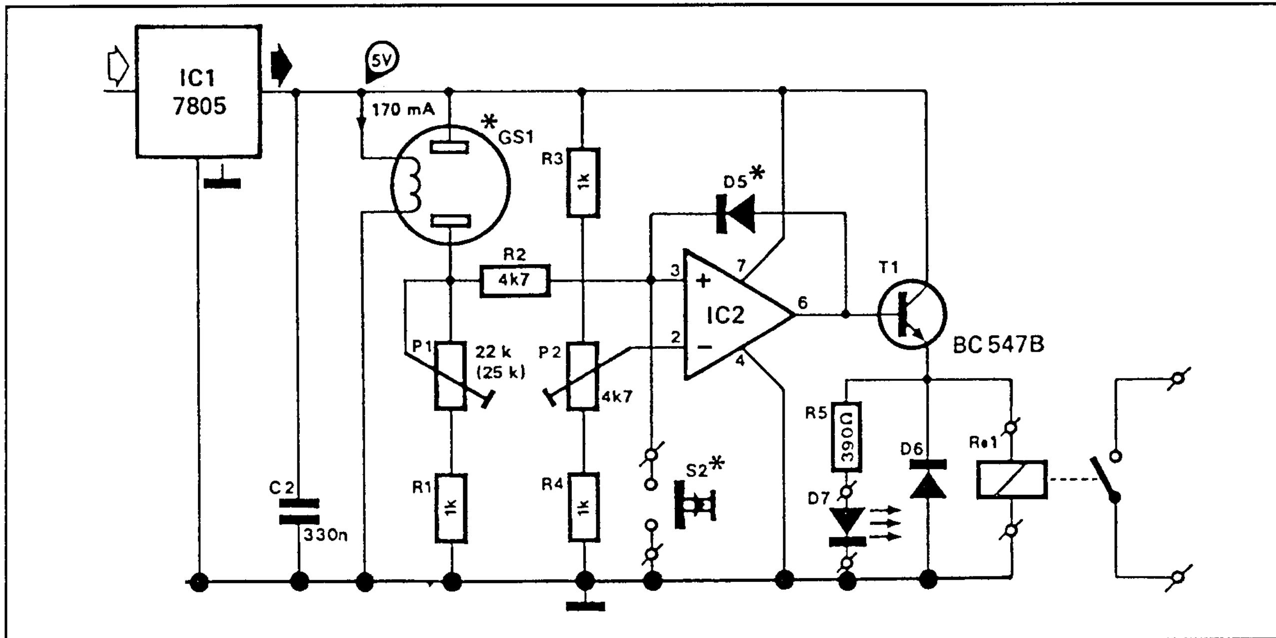


Figuur 6/6.18.5-39: De TGS813 wordt in dit schema gebruikt voor het besturen van een alarmrelais.

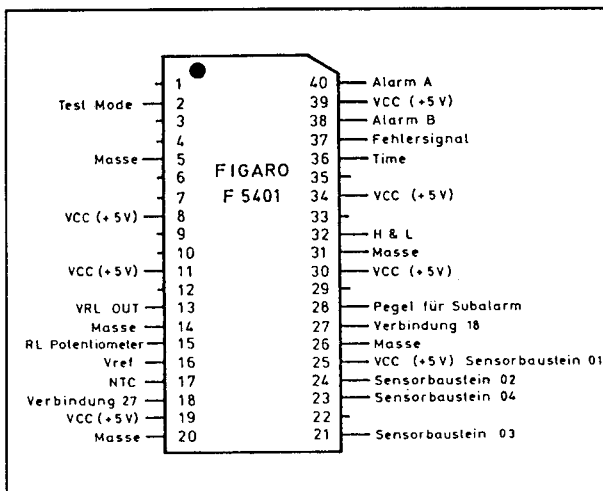


Figuur 6/6.18.5-40: De TGS813 in een schakeling met analoge meter met nulpuntinstelling, voor ijking op 0 % in zuivere lucht.

6.18 Sensor-IC's



Figuur 6/6.18.5-41: De TGS813 gebruikt in een comparatorschakeling met geheugenfunctie, zodat het alarm aan blijft ook als de luchtverontreiniging weer daalt.

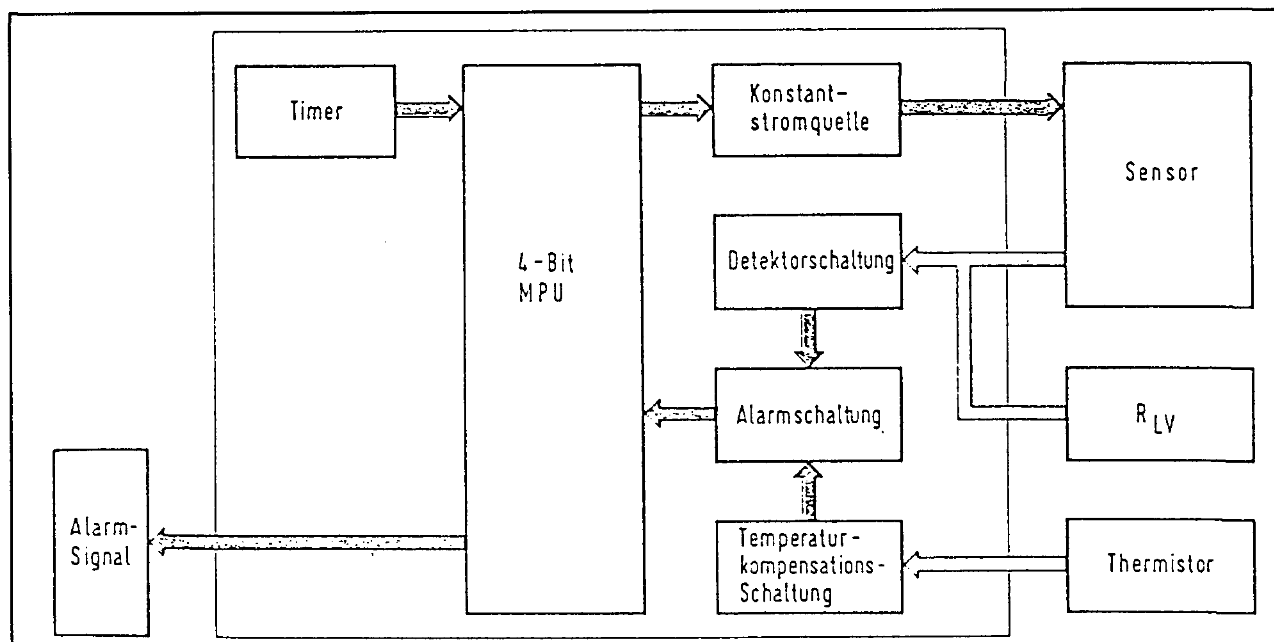


Figuur 6/6.18.5-42: De aansluitgegevens van de FIC5401 van Figaro.

De sensor wordt hierdoor geregenereerd, aanwezige actieve koolfilters in de sensor worden door de hoge temperatuur uitgedampt. Nadien volgt een periode van 90 s waarin de gloeidraadstroom tot de werkwaarde wordt gereduceerd. In deze periode worden drie meetfasen ingelast, in de grafiek aangegeven met I, II en III. Deze drie meetfasen duren respectievelijk 30 ms, 30 ms en 500 ms. Tijdens deze laatste meetfase wordt de weerstand van de sensor omgezet in een spanning die vergeleken wordt met een referentiespanning. Deze referentiespanning wordt bepaald door de waarde van de weerstand die is aangesloten op pen 15. Als de sensorspanning groter is dan de referentiespanning gaat de FIC5401 naar de alarmfase. Een korte beschrijving van de functie van de belangrijkste pennen zal het toepassen van deze schakeling ten zeerste veraangenamen!

- Pen 15: RL
  Op deze pen wordt de potentiometer aangesloten, waarmee de alarmdrempel van de verontreiniging wordt ingesteld.
- Pen 16: Vref
  Op deze pen staat de referentiespanning die wordt gebruikt om de sensorspanning te evalueren.
- Pen 13: VRLout

6.18 Sensor-IC's



Figuur 6/6.18.5-43: Intern blokschema van de FIC5401.

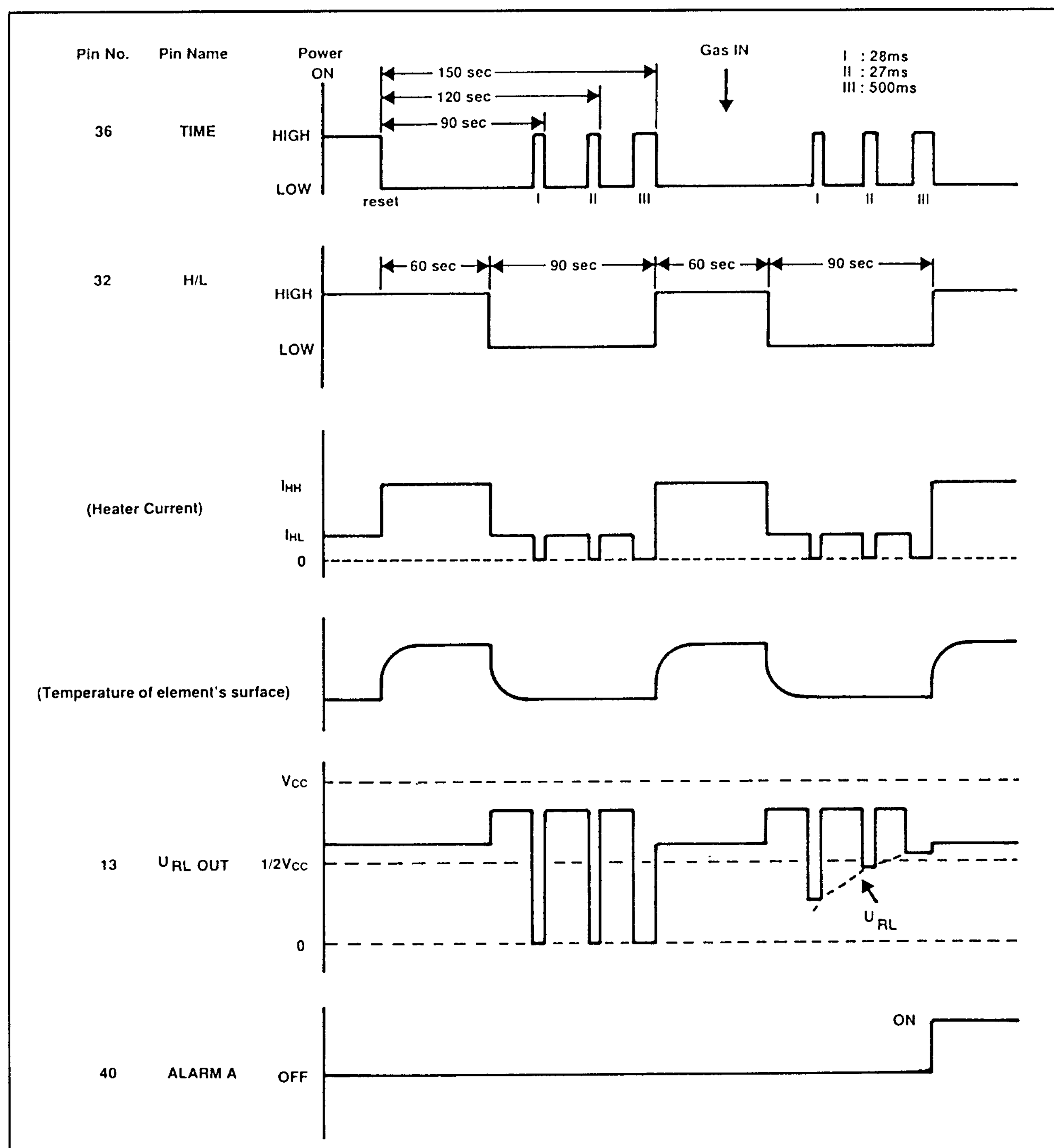
Op deze pen staat de van de sensorweerstand afgeleide spanning, die vergeleken wordt met Vref.

- Pen 40: Alarm A
  Dit is het hoofdalarm. Deze pen wordt "H" als een alarmconditie is waargenomen. Deze uitgang kan 100 mA leveren.
- Pen 38: Alarm B
  Deze pen wordt "L" op het moment dat de gemeten hoeveelheid verontreiniging in de lucht gelijk wordt aan de helft van de alarmwaarde. Deze uitgang kan maximaal 12 mA sinken.
- Pen 37: Trouble
  Deze pen wordt "L" als de processor vaststelt dat de sensor niet meer werkt of dat de interne stroombronnen geen stroom meer leveren aan de gloeidraden.
- Pen 36: time
  Deze uitgang levert om de 30 s een sync-puls, waarmee meetapparatuur van tijdmarkeringen kan worden voorzien. Belangrijk als men bijvoorbeeld de analoge uitgang van het IC aansluit op een meetwaardenschrijver.
- Pen 32: H&L
  Deze pen schakelt van niveau om als de stroom door de gloeidraden van de sensor omschakelt van de hoge naar de lage waarde.
- Pen 17: NTC
  Tussen deze pen en de voeding wordt een NTC-weerstand aangesloten om de ingebouwde temperatuurscompensatie aan het werk te zetten. Deze heeft een nominale weerstand van 8 kΩ bij 25 °C en een B-factor van 4.200.
- Pennen 21, 23, 24, 25: sensor
  Tussen deze pennen worden de twee gloeidraden van de sensor aangesloten.

In figuur 6/6.18.5-45 is door Figaro voorgeschreven standaardschakeling voorgesteld rond de FIC5401 met een Taguchisensor TGS203 voor digitaal alarm via een buzzer.

De belangrijkste uitgangssignalen van het IC worden via een connector K2 naar buiten gevoerd.

6.18 Sensor-IC's

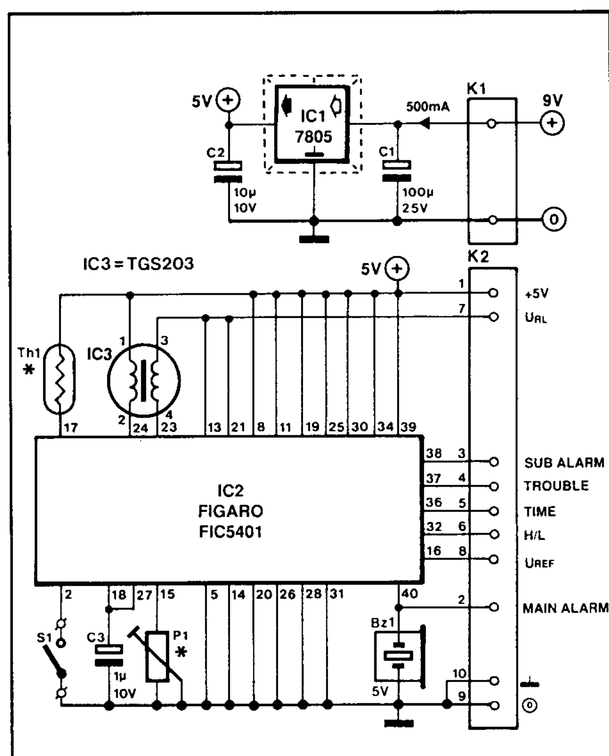


Figuur 6/6.18.5-44: Het volledige timingdiagram van de FIC5401.

Figuur 6/6.18.5-46 geeft het praktisch schema van een draagbaar CO-alarm met auditieve alarmmelding. Basis is een Taguchi-sensor van het type TGS203.

De FIC5401 stuurt een piëzo-ceramische zoemer. Deze wordt door de schakeling rond de operationele versterker TL081 intermitterend aangestuurd.

6.18 Sensor-IC's



Figuur 6/6.18.5-45: De door Figaro voorgeschreven schakeling rond de FIC5401.

De FIC5603

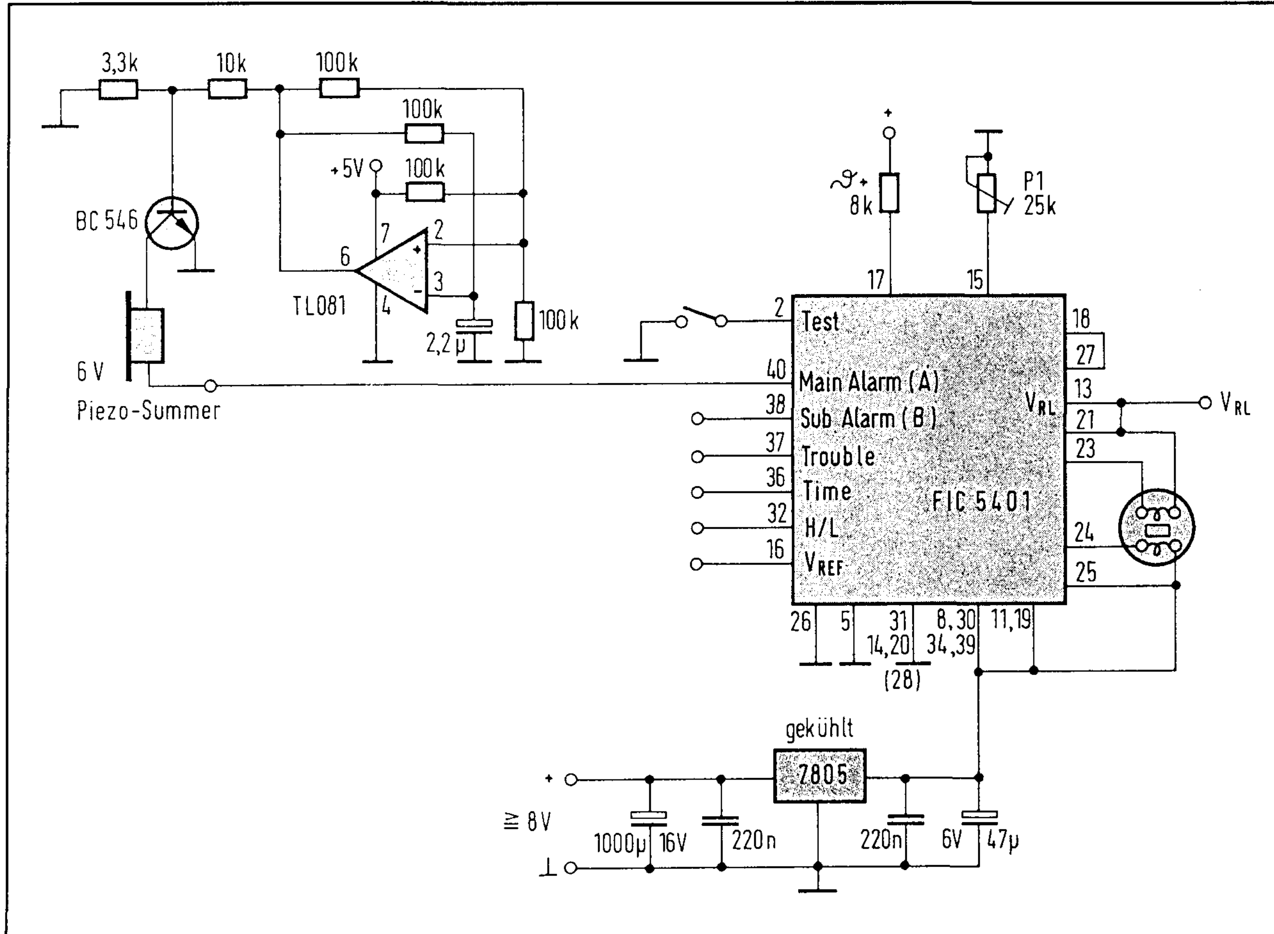
De FIC5603 is ontwikkeld voor het op een optimale manier besturen van Taguchi-sensoren met enkelvoudige gloeidraad. Het IC heeft een ingebouwde analoog naar digitaal omzetter, waarmee de uitgangsspanning van de sensor wordt geëvalueerd. Het IC heeft vijf alarmuitgangen, die actief laag worden en bedoeld zijn voor het sturen van LED's.

De aansluitgegevens staan vermeld in figuur 6/6.18.5-47.

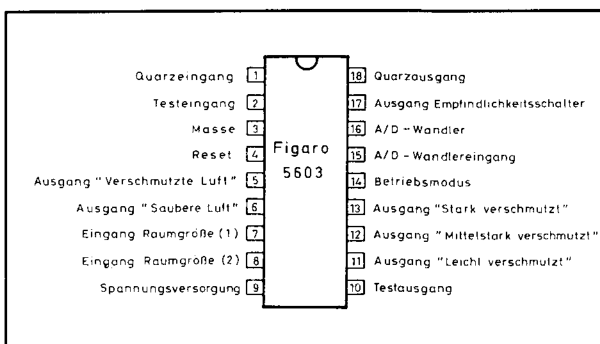
De werking van de schakeling kan het best worden toegelicht aan de hand van een beschrijving van de functie van de pennen.

- Pen 15: ingang ADC
  Aan deze pen wordt de versterkte uitgangsspanning van de sensor toegevoerd.
- Pen 16: ADC
  Deze pen is een uitgang die wordt teruggekoppeld naar de operationele versterker die tussen de sensor en pen 15 is geschakeld.
- Pennen 1 en 18: oscillator
  Tussen deze twee pennen moet een kristal met een frequentie van 4 MHz worden opgenomen. Dit kristal bepaalt de interne timing van het IC.
- Pen 4: reset
  Door het aansluiten van een condensator tussen deze pen en de massa wordt de schakeling bij het inschakelen van de voedingsspanning geïnitialiseerd.
- Pennen 7 en 8: oppervlakte
  De binaire code op deze ingangen moet ingesteld worden op de inhoud van de te bewaken ruimte.
  In de gevoeligste stand is de schakeling in staat (in combinatie met een Taguchi-sensor van het type TGS800) de rook van een sigaret in een lokaal met een inhoud van 50 m^3 te detecteren.
- Pen 17: gevoeligheid
  Deze pen bepaalt de gevoeligheid van de schakeling, de twee standen worden ingesteld door deze pen met de massa of met de voeding te verbinden. Is de schakeling ingesteld op lage gevoeligheid, dan zal de schakeling korte verontreinigingen negeren en alleen reageren op verontreinigingen die langer duren.
- Pen 14: modus
  Digitale stuuringang die de schakeling aanpast aan het gebruik van een ventilator, geactiveerd door de schakeling.
- Pen 6: zuivere lucht
  Deze uitgang wordt intermitterend met een periode van 0,5 s naar "L" getrokken als de sensor geen verontreiniging meet.

6.18 Sensor-IC's



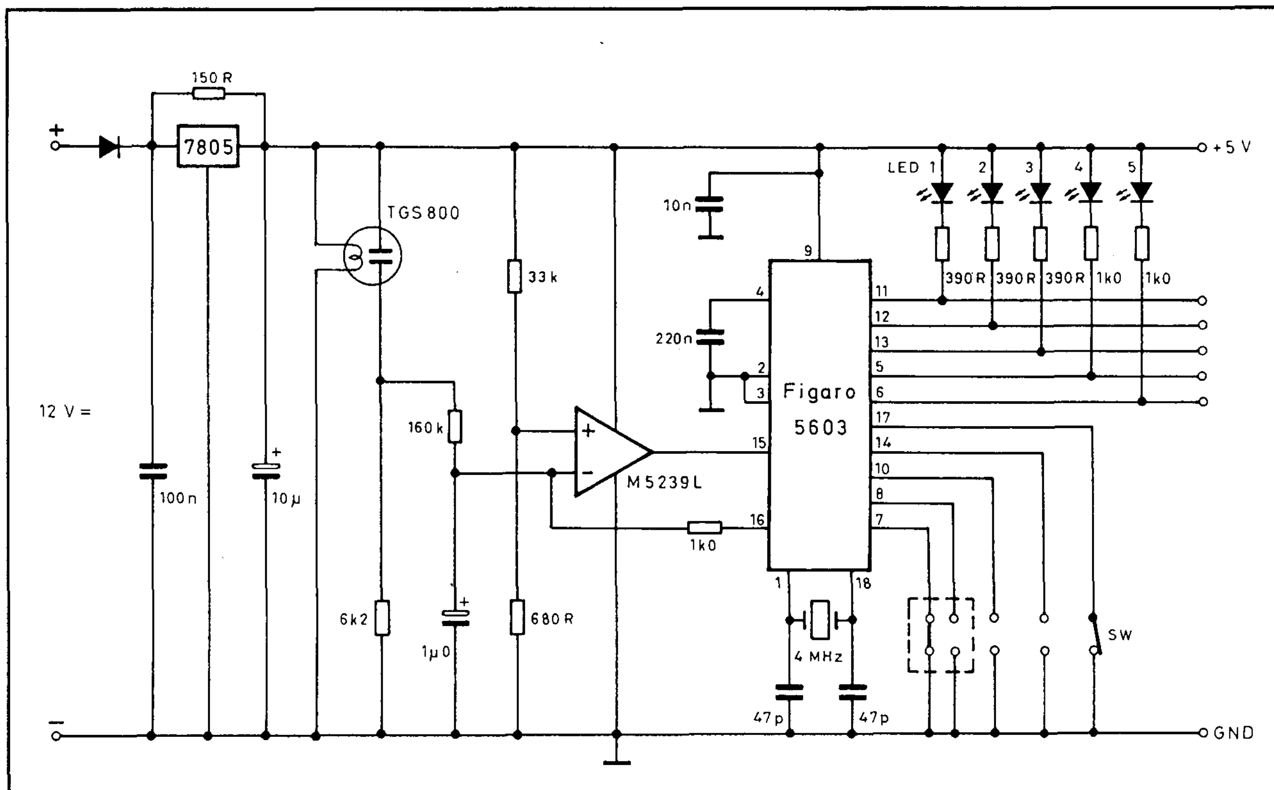
Figuur 6/6.18.5-46: De FIC5401 in een draagbaar CO-alarm met ingebouwde zoemer als alarmgever.



Figuur 6/6.18.5-47: De aansluitgegevens van de FIC5603.

- Pen 11: licht verontreinigd
  Deze uitgang wordt naar "L" getrokken als de lucht licht verontreinigd is.
- Pen 12: middelmatig verontreinigd
  Deze uitgang wordt naar "L" getrokken als de lucht meer dan licht verontreinigd is.
- Pen 14: sterk verontreinigd
  Deze uitgang wordt naar "L" getrokken als de lucht sterk verontreinigd is.
- pen 5: verontreinigd
  Deze uitgang wordt naar "L" getrokken als de sensor verontreiniging heeft vastgesteld.
  Deze uitgang gaat "L" als een van de uitgangen 11, 12 of 13 ook naar "L" wordt getrokken. Deze uitgang kan ook gebruikt worden voor het sturen van een extern alarm.

6.18 Sensor-IC's



Figuur 6/6.18.5-48: Basisschema rond de FIC5603 van Figaro.

In figuur 6/6.18.5-48 is de door de fabrikant voorgeschreven basisschakeling rond de FIC5603 met een TGS800 als Taguchi-sensor opgenomen.

De werking van deze schakeling zal, aan de hand van de bespreking der pennen, gemakkelijk te doorgronden zijn.

6.18 Sensor-IC's

6/6.18.10

Silicium temperatuursensoren van de KTY-serie

Fysische achtergronden

Heet silicium werkt anders dan koud silicium

Het bekende halfgeleidermateriaal sili- cium verliest bij temperaturen tussen 150 °C en 200 °C zijn halfgeleidende eigenschappen. Er treedt dan zogenoemde "intrinsieke geleiding" op, waardoor het kristal zeer laagohmig wordt. Transistoren, dioden en IC's die tot deze temperatuur worden opgewarmd, gaan onherroepelijk stuk.

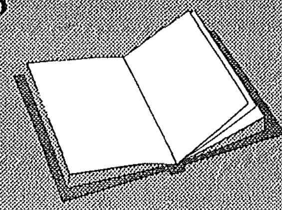
Men zou dus kunnen veronderstellen dat silicium absoluut ongeschikt is voor het fabriceren van temperatuursensoren die boven de genoemde grenzen meten. Toch hebben Siemens en Philips zogenoemde "spreading-resistance" temperatuursensoren op basis van silicium ontwikkeld die tot 300 °C bruikbaar zijn. Deze sensoren worden op de markt gebracht met het voorvoegsel KTY. De KTY-sensoren hebben, binnen een bepaald temperatuurbereik, een met de temperatuur toenemende weerstandswaarde. De oorzaak van dit vreemde verschijnsel is te vinden in de vormgeving van de contactelektroden, waarvan de invloed het gedrag van de sensor voor hoge temperaturen volledig vastlegt. Dit wordt in een verdere paragraaf verklaard. KTY-sensoren zijn uitstekende low-cost alternatieven voor de bekende Ni- en Pt-metaalfilm sensoren.

De toegepaste technologie is veruit superieur aan de klassieke PTC-thermistors.

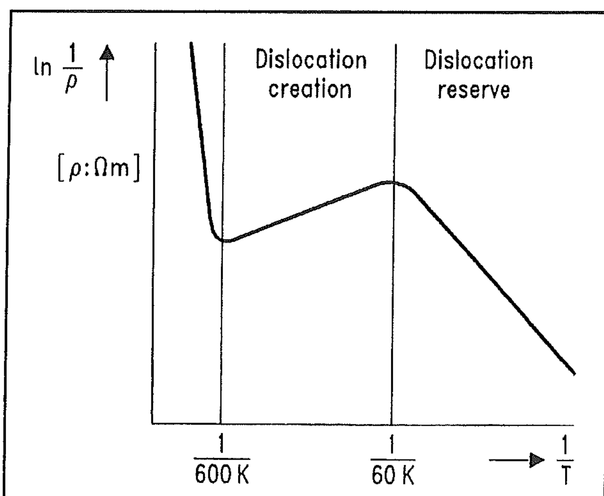
Beweeglijkheid van de vrije ladingsdragers

In het basismateriaal silicium zijn veel vrije ladingsdragers aanwezig: gaten en elektronen. De beweeglijkheid van deze vrije ladingsdragers door het materiaal is in grote mate afhankelijk van de temperatuur. De specifieke weerstand van het siliciumkristal is onder andere afhankelijk van de concentratie van P- en N-verontreinigingen in het silicium. De concentraties aan P en N ladingsdragers worden bij lage temperaturen uitsluitend bepaald door de doteringsconcentratie N waarmee het aantal doteringsatomen per kubieke centimeter wordt aangegeven. Bij hogere temperaturen neemt de dichtheid aan ladingsdragers echter toe als gevolg van

LEES OOK:
Hoofdstuk 3/3.4
Hoofdstuk 6/6.18.1
Hoofdstuk 6/6.18.6



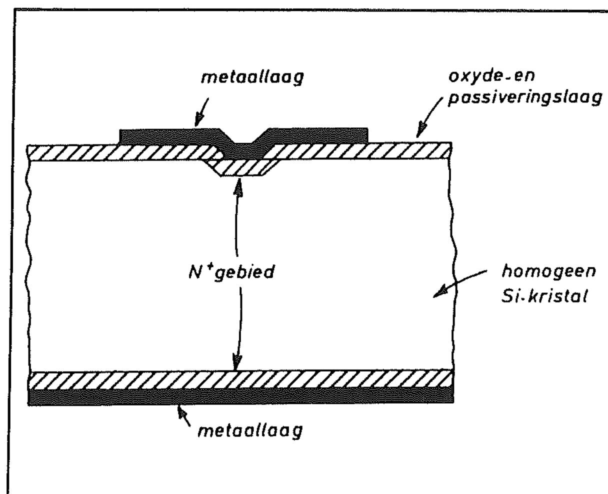
thermisch gegenereerde paren ladingsdragers (elektron/gat-paar). Dit noemt men de intrinsieke geleiding van het materiaal. De beweeglijkheid van de ladingsdragers neemt met toenemende temperaturen geleidelijk af.
Bij temperaturen tussen 150 °C en 200 °C ontstaat echter een tegengesteld gericht effect waarbij de concentratie van de ladingsdragers toeneemt. Bij nog hogere temperaturen heeft dit een doteringsonafhankelijk weerstandsverloop door intrinsieke geleiding tot gevolg.
Het verloop van de soortelijke weerstand van het materiaal in functie van de temperatuur is geschetst in figuur 6/6.18.10-1.



Figuur 6/6.18.10-1: Het verloop van de soortelijke weerstand van silicium in functie van de temperatuur.

De technologie van de sensoren

In figuur 6/6.18.10-2 is de samenstelling van een KTY silicium temperatuursensor voorgesteld. Het siliciumkristal heeft als afmetingen ongeveer 500 µm bij 500 µm en is ongeveer 240 µm dik. Onder de hele onderzijde van het kristal is een metalen contactvlak aanwezig terwijl bovenop het kristal een ringvormig elektrode met een zeer kleine diameter is aangebracht. De diameter van deze ringvormige elektrode bedraagt slechts ongeveer 20 µm. Deze constructie biedt het voordeel dat toleranties in de kristalafmetingen een aanzienlijk geringere invloed op de sensorweerstand uitoefenen dan bij andere uitvoeringsvormen.



Figuur 6/6.18.10-2: De schematische voorstelling van de samenstelling van een KTY-sensor.

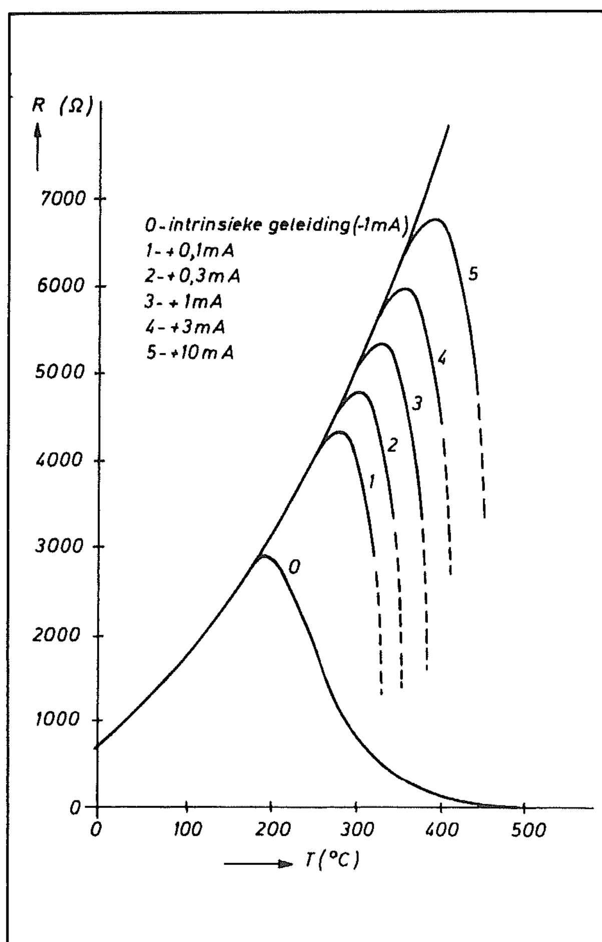
Om een junctievrije halfgeleiderovergang te verkrijgen worden onder de opgedampte metalen contacten nog eens zeer zwaar gedoteerde N+-gebieden aangebracht.

Asymmetrische constructie

Het beschreven sensorelement heeft uiteraard een zeer asymmetrische opbouw. Tussen de beide contacten ontstaat in eerste instantie een kegelvormige stroomverdeling. In de nabijheid van het kleine bovenste contact treden bij werkstromen van enkele mA dus al zeer hoge stroomdichtheden en forse veldvervormingen op die tot gevolg hebben dat de weerstand van de sensor afhankelijk is van de stroom-

6.18 Sensor-IC's

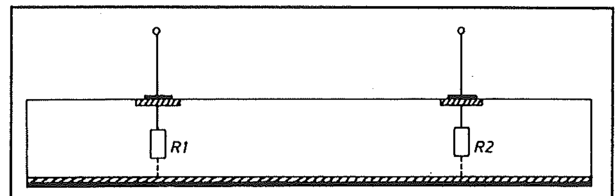
richting. Dit effect is klein maar wordt bij grotere stromen toch goed meetbaar.
Het sensorelement gedraagt zich bijgevolg, al naar gelang de stroomrichting, sterk verschillend. In figuur 6/6.18.10-3 is de weerstand uitgezet als functie van de temperatuur en voor verschillende stroomrichtingen en stroomsterkten.



Figuur 6/6.18.10-3: Het verloop van de sensorweerstand in functie van de temperatuur met diverse stromen als parameter.

Vloeien de elektronen in de richting die gegeven wordt door de pluspool aan het kleine contact dan neemt de weerstand, ook voorbij het punt waarbij intrinsieke geleiding optreedt, toe met de temperatuur. Afhankelijk van de stroomsterkte treedt nu pas bij temperaturen boven 300 °C een weerstandsdaling op. Bij voldoende grote stroomsterkten gedraagt de sensorweerstand zich tot temperaturen van meer dan 300 °C dus alsof de intrinsieke geleiding in het geheel niet bestaat.

Symmetrische uitvoering
Om het bezwaar van de asymmetrische werking te ondervangen en om een symmetrisch werkend onderdeel te verkrijgen worden meestal twee afzonderlijke sensor-elementen tot één onderdeel tegen elkaar geschakeld. In figuur 6/6.18.10-4 is deze symmetrische constructie voorgesteld.



Figuur 6/6.18.10-4: De constructie van een symmetrische KTY-sensor.

De weerstand van een symmetrische KTY-sensor is nu uiteraard onafhankelijk van de polariteit. Door deze opbouw wordt echter bovendien een ingewikkeld fysisch effect geneutraliseerd waardoor de sensor geschikt wordt voor het meten van hogere temperaturen.
Het verloop van de weerstandsverandering is niet helemaal lineair, maar paraboolvormig licht gekromd en kan worden beschreven door de volgende formule:

$$R_T = R_0 + aT + bT^2$$

waarbij a en b materiaalconstanten zijn.
Uitgaande van basiswaarden van ongeveer 7 Ω.cm en 22 µm contactgat doorsnede bedraagt de sensorweerstand dan on-

geveer 2 kΩ bij 25 °C. Een nadeel is dat de sensor in deze opstelling capaciteitsarm is en tegen spanningspieken moet worden beschermd.

Fysische verklaring

Wie figuur 6/6.18.10-1 aandachtig bekijkt zal vaststellen dat KTY-sensoren zich nogal vreemd gedragen en een fysische verklaring voor dit verschijnsel is niet zo eenvoudig te geven. Men heeft een zogenaamd "fysisch model" opgesteld aan de hand waarvan het gedrag toch min of meer is te verklaren.

Onder de metalen contacten aan weerszijden van het element zijn zwaar gedoteerde N^+-gebieden ingediffundeerd die als contactpunten dienst doen. Het sensorelement heeft dus een N^+-N-N^+ structuur. Bovendien is het N^+-gebied onder het bovenste contact zeer klein. De diameter bedraagt ongeveer 20 µm bij een diepte van 5 tot 10 µm.

In alle drie de diffusiegebieden zijn de elektronen (n) de meerderheidsladingdragers en de gaten (p) de minderheidsladingdragers. Het verband tussen de concentraties aan ladingsdragers n en p luidt als bij alle halfgeleiders:

$$n * p = n_i^2$$

waarbij n_i de "intrinsieke geleidingsconcentratiedichtheid" voorstelt. Deze grootheid wordt uitsluitend door de temperatuur bepaald. De verdeling van de ladingdragerconcentraties wordt uitsluitend bepaald door de dotering van het silicium.

In de zwaar N^+-gedoteerde gebieden onder de contacten zullen door de grote elektronendichtheid maar heel weinig gaten aanwezig zijn.

Bij temperaturen waarbij intrinsieke geleiding optreedt worden in het sensorkristal thermisch elektron/gat-paren gegenereerd zodat extra ladingsdragers beschikbaar zijn. Deze ladingsdragers kunnen echter alleen aan de stroom bijdragen als ze via de contacten kunnen worden af- en aangevoerd. Maar als het kleine contact aan de pluspool en de daar tegenover gelegen grote contactplaat aan de minpool ligt, is dat bij deze sensor nu juist niet het geval. De elektronen vloeien dan naar het kleine contact en de gaten naar de grote metalen plaat aan de onderzijde van de sensor. Deze gaten kunnen het kristal echter alleen verlaten als aan de tegenoverliggende zijde, dus aan het kleine bovenste contact, een overeenkomstig aantal gaten in het kristal binnenstroomt.

In dit N^+-gebied bevinden zich echter maar weinig gaten die binnen slechts enkele microseconden worden weggezogen. Daarna kunnen er geen gaten meer wegstromen en ontstaat er intern over het stroomtraject een spanningsval die verhindert dat gaten uit het kristal via de metalen plaat aan de onderzijde kunnen afvloeien. In het gebied van het kleine bovenste contact worden weliswaar steeds opnieuw thermische gaten gegenereerd, maar door het geringe oppervlak van dit gebied is het aantal veel te klein om veel aan de stroomdoorgang te kunnen bijdragen.

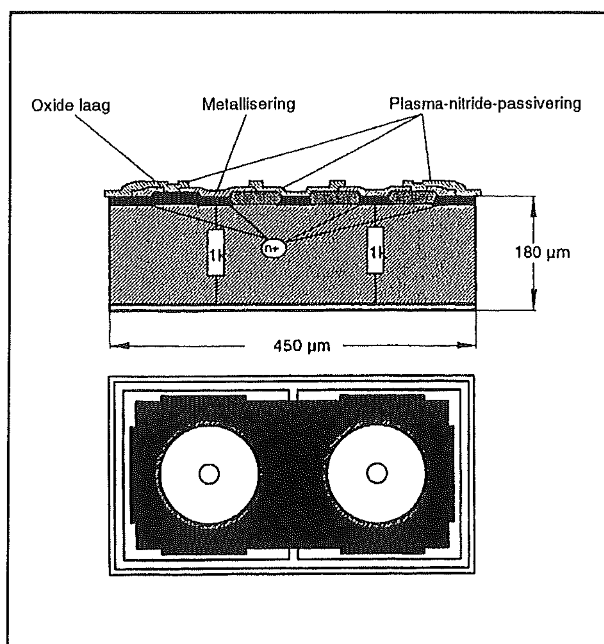
In het sensor-kristal worden dus weliswaar bij hoge temperaturen thermisch elektron/gat-paren gegenereerd, maar deze kunnen het kristal niet verlaten omdat de productie van gaten van het kleine bovenste contactgebied niet voldoende is. Pas bij temperaturen hoger dan 300 °C wordt de thermische productie van dit gebied zo groot dat de bijdrage van de intrinsieke geleiding aan de stroomdoorgang merkbaar wordt.

Bij tegengestelde polariteit, dus wanneer de minpool op het kleine bovenste contact en de pluspool op de grote metalen

onderste plaat worden gezet, gedraagt de sensor zich heel anders. De grote contactzône aan de onderzijde van het kristal kan nu wél voldoende elektron/gat-paren leveren zodat in dat geval de intrinsieke geleiding zoals gebruikelijk al bij temperaturen vanaf ongeveer 150 °C optreedt.

De fabricage van de KTY-sensoren

In figuur 6/6.18.10-5 zijn doorsnede en bovenaanzicht van een praktische KTY-sensor getekend. Voor de fabricage van de KTY-sensoren wordt een fotolithografisch proces in het submicrongebied toegepast. Als isolatie wordt een dubbellaags oxide-nitride toegepast die na het aanbrengen van de contactvlakken met plasma-nitride wordt gepassiveerd. De passivatie wordt alleen rondom de contactvlakken weggeëtst. Op deze manier is de halfgeleider over het hele oppervlak beschermd tegen omgevingsinvloeden.



Figuur 6/6.18.10-5: Doorsnede en bovenaanzicht van een KTY-sensor.

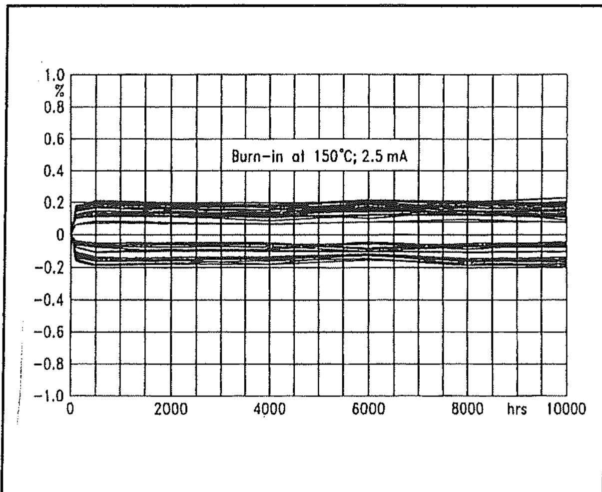
Om nauwkeurig gedoteerd en uiterst homogeen siliciummateriaal te verkrijgen, wordt neutronenactivatie toegepast. Met deze methode kunnen doteringsschommelingen van slechts +/-0,1 %, overeenkomend met een homogeniteit van +/-1 % worden bereikt ten opzichte van + +/-15 % bij normaal behandeld materiaal.

Naast een hoge nauwkeurigheid van de sensorelementen resulteert dit ook in een hoog rendement, oftewel het bruikbaar aantal chips per wafel.

De kwaliteit van het contact tussen de metallisatie van de zich aan de onderzijde bevindende drager en de siliciumchip is ook van invloed op de nauwkeurigheid van de weerstandswaarde. Bij de KTY sensoren van Siemens wordt de onderkant van de halfgeleiderschijf met goud gemetalliseerd en op de metalen drager gelegeerd. Daarmee wordt in vergelijking tot de elders gangbare lijmmethode een hoge stabiliteit van de verbinding van de beide componenten bereikt.

De eigenschappen van de contactvlakken zijn voor de reproduceerbaarheid en de stabiliteit op lange termijn van doorslaggevende betekenis. In plaats van de gebruikelijke enkelvoudige Al-metallisatie wordt een meerlaagse metallisatie toegepast. Er wordt gebruik gemaakt van een Ti-Pt-Au-legering die, gelet op de hoge eisen, ook bij moderne microgolfcomponenten noodzakelijk is. Dit heeft, in combinatie met de door thermocompressie tot stand gekomen gouddraad-bonding, een hoge betrouwbaarheid op langere termijn tot gevolg. Een test bij een langdurig hoge temperatuur toont na een overgangsperiode tijdens de eerste 1.000 uur (drift tot +0,2%) in de periode daarna tot 10.000 uur slechts een zeer geringe driftwaarde van maximaal

+/-0,05 % van de weerstandswaarde. Deze uitstekende driftkarakteristieken worden voorgesteld in figuur 6/6.18.10-6.



Figuur 6/6.18.10-6: De uitstekende lange termijn stabiliteit van de KTY-sensoren die door Siemens op de markt worden gebracht.

Technische specificaties

Algemene specificaties

De KTY-sensoren van Siemens en Philips hebben de onderstaande algemene specificaties:

- KTY-sensoren zijn geschikt voor toepassing in het temperatuurbereik van -50 °C tot +150 °C, sommige modellen meten zelfs tot +300 °C;
- KTY-sensoren kunnen binnen dit bereik taken op het gebied van het meten, besturen en regelen van lucht-, gas- en vloeistoftemperatuur vervullen;
- bij een omgevingstemperatuur van 25 °C heeft de nominale gevoeligheid een waarde van ongeveer 0,8 %/°C;
- de meetnauwkeurigheid kan als gemiddeld worden bestempeld;
- het sensor-element is als n-geleidend siliciumkristal in planartechnologie uitgevoerd;
- de weerstandskarakteristiek kan als een zwak gekromde parabool worden weergegeven.

TA	k_T		
°C	min.	typ.	max.
-50	0,504	0,518	0,528
-40	0,556	0,570	0,579
-30	0,613	0,625	0,633
-20	0,674	0,685	0,692
-10	0,739	0,748	0,754
0	0,808	0,815	0,820
10	0,882	0,886	0,889
20	0,960	0,961	0,962
25	1,0**		
30	1,039	1,040	1,041
40	1,119	1,123	1,125
50	1,202	1,209	1,213
60	1,289	1,300	1,306
70	1,380	1,394	1,402
80	1,475	1,492	1,502
90	1,573	1,594	1,607
100	1,675	1,700	1,715
110	1,780	1,810	1,827
120	1,890	1,923	1,944
130	2,002	2,041	2,064
140	2,085	2,128	2,154
150	2,186	2,235	2,264

* Normalisatiepunt

Tabel 216.40-1: *Temperatuurfactor k_T bij een temperatuurbereik van -50 tot +150 °C).*

Figuur 6/6.18.10-7: Het verloop van de temperatuurfactor k_T in functie van de temperatuur.

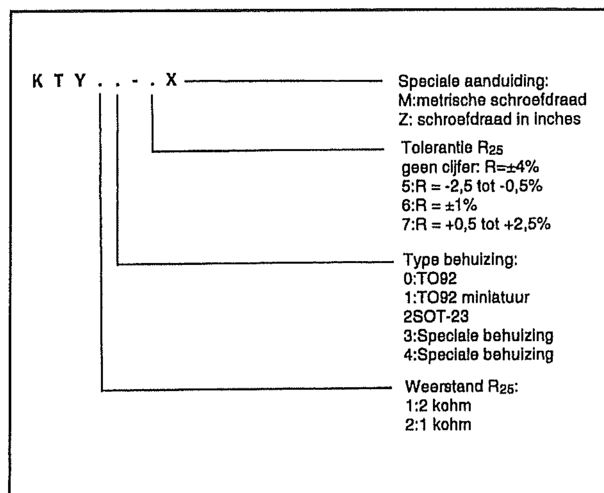
De temperatuurfactor k_T

Ten gevolge van toleranties tussen componenten is de temperatuurfactor k_T aan schommelingen onderhevig. Het verloop

van deze constante is in de tabel van figuur 6/6.18.10-7 weergegeven.

Type-aanduiding

KTY-sensoren hebben een gestandaardiseerde codering, die wordt voorgesteld in de tabel van figuur 6/6.18.10-8.

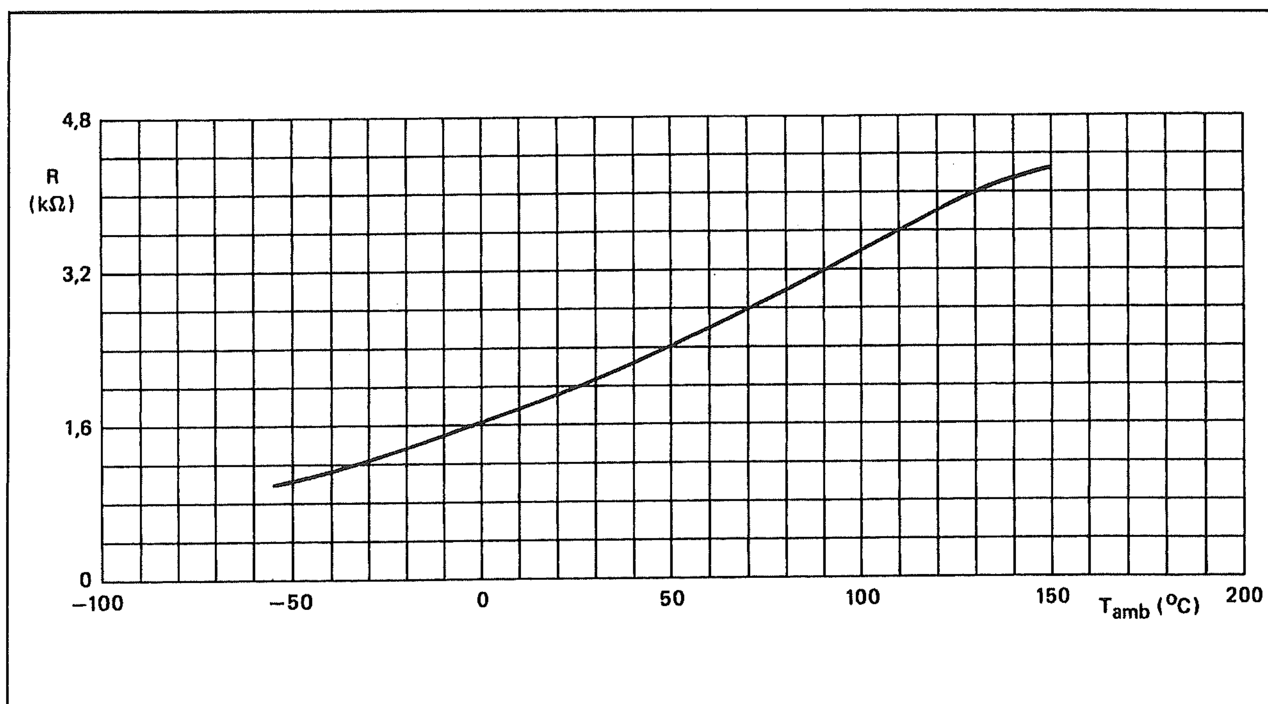


Figuur 6/6.18.10-8: De type-codering van de KTY-sensoren.

Het eerste cijfer na de code KTY geeft de weerstand bij 25 °C weer, het tweede cijfer de behuizing. Na het streepje geeft een derde cijfer de tolerantieklasse aan. De laatste letter van de code heeft betrekking op speciale industriële behuizingen.

De sensorweerstand karakteristiek

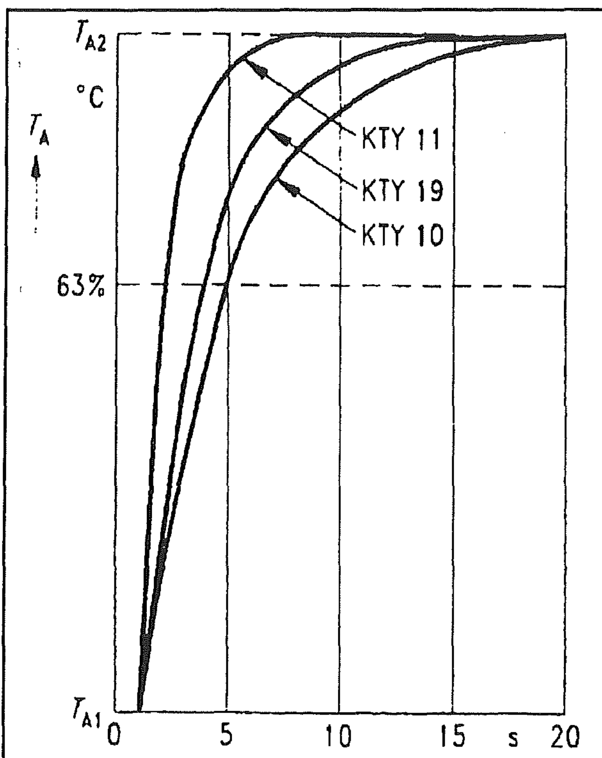
Zoals reeds geschreven hebben de KTY-sensoren in het bruikbare gebied een positieve temperatuurscoëfficiënt en een iets parabolische karakteristiek. Het praktische verloop van de karakteristiek, als voorbeeld van de KTY81-2 van Philips, is weergegeven in figuur 6/6.18.10-9. Zoals uit deze karakteristiek lijkt, valt het niet-lineaire verloop van de karakteristiek in de praktijk best wel mee. Bovendien kan men de karakteristiek nog eens lineariseren door het toepassen van een kleine externe schakeling (zie verder).



Figuur 6/6.18.10-9: De weerstandskarakteristiek van de sensor KTY81-2 van Philips.

De thermische tijdconstante

Een belangrijke specificatie voor iedere temperatuursensor is uiteraard de thermische tijdconstante. Deze grootheid geeft een idee van de snelheid waarmee de sensor de temperatuur van de omgeving overneemt of volgt. Hoe kleiner deze tijdconstante hoe beter. Uiteraard is deze grootheid mede afhankelijk van de behuizing van de sensor. KTY-sensoren doen het ook op dit gebied niet slecht, zoals blijkt uit de grafieken van figuur 6/6.18.10-10.



Figuur 6/6.18.10-10: De thermische tijdconstante van een typische KTY-sensor.

Type-beschrijving

Meten tot 300 °C!

Met sommige KTY-sensoren kan men temperaturen tot 300 °C meten! Dergelijke sensoren zijn gemonteerd in een thermisch gesloten omhulling. Philips voert de sensor uit in een in glas ingekapselde drukcontactbehuizing. Dit soort behuizing is bijzonder robuust en hermetisch absoluut dicht. Een voor temperatuurmetingen gunstige bijkomstigheid is nog dat de omhulling door zijn geringe afmetingen maar een geringe warmtecapaciteit heeft. Op deze wijze uitgevoerde sensoren voor hoge temperaturen zijn bijvoorbeeld onder de type-aanduiding KTY84 uit serieproductie leverbaar.

Ze zijn bijzonder geschikt voor alle toepassingen die een temperatuurbereik vanaf -50 °C tot +300 °C bestrijken. Toepassingsgebieden zijn bijvoorbeeld temperatuurregelingen van verwarmings- en kookapparaten of het meten van uitlaatgassen van automobielen.

Overzicht van de verschillende typen

In het overzicht van figuur 6/6.18.10-11 zijn de door Siemens gefabriceerde KTY temperatuur-sensoren op een rijtje gezet. In de tabel van figuur 6/6.18.10-12 zijn alle door Philips op de markt gebrachte soortgenoten overzichtelijk voorgesteld.

Weerstand bij 25 °C R 25						
min.	max.	TO-92	TO-92 mini	SOT-23	Speciaal	Speciaal
1920 Ω	2080 Ω	KTY 10	KTY 11	KTY 13		
1950 Ω	1990 Ω	KTY 10-5	KTY 11-5	KTY 13-5		
1980 Ω	2020 Ω	KTY 10-6	KTY 11-6	KTY 13-6	KTY 16-6	KTY 19-6
1990 Ω	2010 Ω	KTY 10-62				
2010 Ω	2050 Ω	KTY 10-7	KTY 11-7	KTY 13-7		
960 Ω	1040 Ω	KTY 20	KTY 21	KTY 23		
975 Ω	995 Ω	KTY 20-5	KTY 21-5	KTY 23-5		
990 Ω	1010 Ω	KTY 20-6	KTY 21-6	KTY 23-6		
1005 Ω	1025 Ω	KTY 20-7	KTY 21-7	KTY 23-7		

Figuur 6/6.18.10-11: De door Siemens leverbare KTY-sensoren.

6.18 Sensor-IC's

Typenumber	Package	RESISTANCE R(W)	RESISTANCE AT TAMB °C	SENSOR ACCURACY(°C)	SENSOR ACCURACY @ TAMB(°C)	Operating temp.(Cel)
KTY81/110	SOD70	990 to 1010	25	+-1.3	25	-55 to +150
KTY81/120	SOD70	980 to 1020	25	+-2.5	25	-55 to +150
KTY81/122	SOD70	1000 to 1020	25	+-1.3	25	-55 to +150
KTY81/210	SOD70	1980 to 2020	25	+-1.3	25	-55 to +150
KTY81/220	SOD70	1960 to 2040	25	+-2.5	25	-55 to +150
KTY81/221	SOD70	1960 to 2000	25	+-1.3	25	-55 to +150
KTY81/250	SOD70	1900 to 2100	25	+-6.3	25	-55 to +150
KTY82/110	SOT23 (TO-236AB, SST3)	990 to 1010	25	+-1.3	25	-55 to +150
KTY82/120	SOT23 (TO-236AB, SST3)	980 to 1020	25	+-2.5	25	-55 to +150
KTY82/121	SOT23 (TO-236AB, SST3)	980 to 1000	25	+-1.3	25	-55 to +150
KTY82/150	SOT23 (TO-236AB, SST3)	950 to 1050	25	+-6.3	25	-55 to +150
KTY82/151	SOT23 (TO-236AB, SST3)	950 to 1000	25	+-3.2	25	-55 to +150
KTY82/210	SOT23 (TO-236AB, SST3)	1980 to 2020	25	+-1.3	25	-55 to +150
KTY82/220	SOT23 (TO-236AB, SST3)	1960 to 2040	25	+-2.5	25	-55 to +150
KTY82/221	SOT23 (TO-236AB, SST3)	1960 to 2000	25	+-1.3	25	-55 to +150
KTY82/250	SOT23 (TO-236AB, SST3)	1900 to 2100	25	+-6.3	25	-55 to +150
KTY82/251	SOT23 (TO-236AB, SST3)	1900 to 2000	25	+-3.2	25	-55 to +150
KTY82/252	SOT23 (TO-236AB, SST3)	2000 to 2100	25	+-3.2	25	-55 to +150
KTY83/110	SOD68 (DO-34)	990 to 1010	25	+-1.3	25	-55 to +175
KTY83/120	SOD68 (DO-34)	980 to 1020	25	+-2.5	25	-55 to +175
KTY83/121	SOD68 (DO-34)	980 to 1000	25	+-1.3	25	-55 to +175
KTY83/122	SOD68 (DO-34)	1000 to 1020	25	+-1.3	25	-55 to +175
KTY83/150	SOD68 (DO-34)	950 to 1050	25	+-6.6	25	-55 to +175
KTY83/151	SOD68 (DO-34)	950 to 1000	25	+-3.3	25	-55 to +175
KTY84/130	SOD68 (DO-34)	970 to 1030	100	+-4.8	100	-40 to +300
KTY84/150	SOD68 (DO-34)	950 to 1050	100	+-8.0	100	-40 to +300
KTY84/151	SOD68 (DO-34)	950 to 1000	100	+-4.0	100	-40 to +300

Figuur 6/6.18.10-12: Overzicht van de door Philips leverbare typen.

Selectie

Siemens brengt (met alle onderlinge variaties) een twintigtal KTY-sensoren op de markt en Philips een dertigtal. Het is uiteraard niet de bedoeling al deze sensoren hier te bespreken. Vandaar een selectie, waarbij voornamelijk gelet is op de toepassingsgebieden van de diverse sensoren.

De KTY16-6 van Siemens

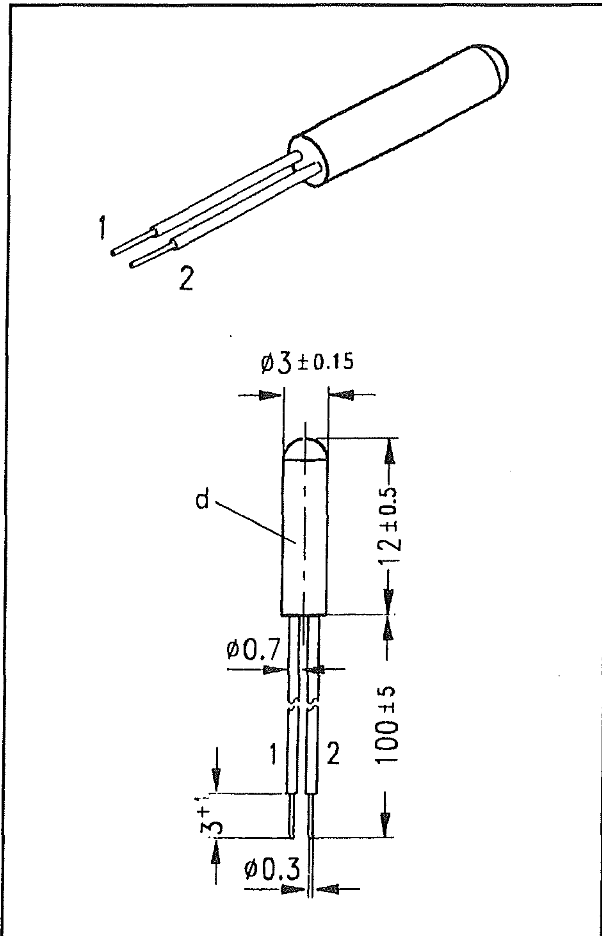
De sensor KTY16-6 beschikt over de volgende eigenschappen:

- kleine metalen behuizing met twee aansluitdraden, zie figuur 6/6.18.10-13
- korte aanspreek tijdconstante
- betrouwbaar dankzij goudcontacten
- N-geleidend silicium materiaal
- stroomrichtingsonafhankelijk dankzij de symmetrische interne opbouw
- maximale voedingsspanning: 25 V
- maximale stroom: 5 mA
- piekstroom: 7 mA (10 ms)
- meetbereik: -50 °C tot +150 °C
- weerstand bij +25 °C: 2 kΩ
- thermische tijdconstante in lucht: 40 s
- thermische tijdconstante in olie: 4 s

De sensoren worden in de fabriek als volgt getest:

- testspanning: 200 V wisselspanning
- isolatiespanning: 200 V wisselspanning
- testduur: 2 s

6.18 Sensor-IC's

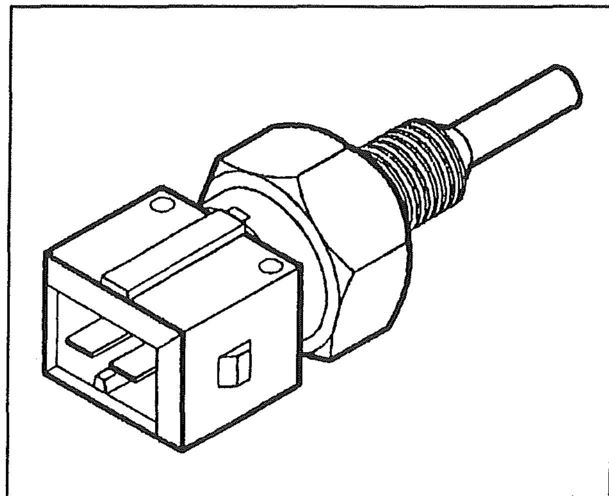


Figuur 6/6.18.10-13: De behuizing van de KTY16-6.

- geselecteerd bij 25 °C op R = 2 kΩ +/-1 %
- korte aanspreek tijdconstante
- hoge stabiliteit over langere tijd
- goede lineariteit
- stroomrichtingsonafhankelijk dankzij de symmetrische interne opbouw
- maximale voedingsspanning: 25 V
- maximale stroom: 5 mA
- piekstroom: 7 mA (10 ms)
- meetbereik: -50 °C tot +150 °C
- weerstand bij +25 °C: 2 kΩ
- thermische tijdconstante in lucht: 40 s
- thermische tijdconstante in olie: 4 s

De sensoren worden in de fabriek als volgt getest:
- testspanning: 1 kV wisselspanning
- isolatiespanning: 100 V wisselspanning
- testduur: 1 s

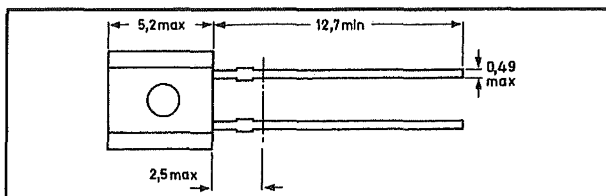
De KTY19-6 van Siemens
De sensor KTY19-6 beschikt over de volgende eigenschappen:
- ontwikkeld voor zwaar gebruik in industriële omgevingen:
- corrosiebeveiligde edelstalen behuizing met tweepolige steker, zie figuur 6/6.18.10-14
- montage via robuuste schroefdraad op de behuizing
- inschroef-draaimoment: maximaal 30 Nm
- een bijbehorende waterdichte aansluitstekerset is leverbaar



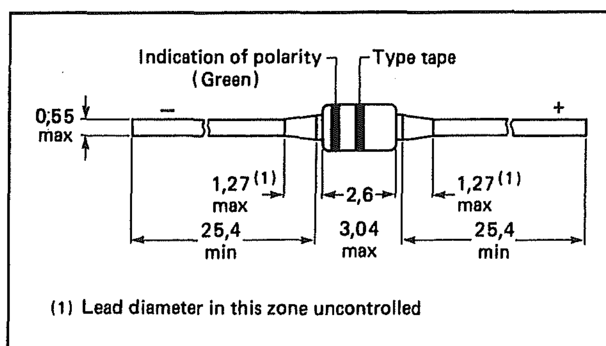
Figuur 6/6.18.10-14: De behuizing van de KTY19-6 van Siemens.

De KTY81-1 van Philips
De sensor KTY81-1 beschikt over de volgende eigenschappen:
- kleine SOD-70 kunststof behuizing met twee aansluitdraden, zie figuur 6/6.18.10-15
- korte aanspreek tijdconstante
- N-geleidend silicium materiaal

- stroomrichtingsonafhankelijk dankzij de symmetrische interne opbouw
- maximale stroom: 10 mA
- meetbereik: -50 °C tot +150 °C
- weerstand bij +25 °C: 1 kΩ
- thermische tijdconstante in lucht: 30 s
- thermische tijdconstante in olie: 3 s



Figuur 6/6.18.10-15: De behuizing van de KTY81-1.



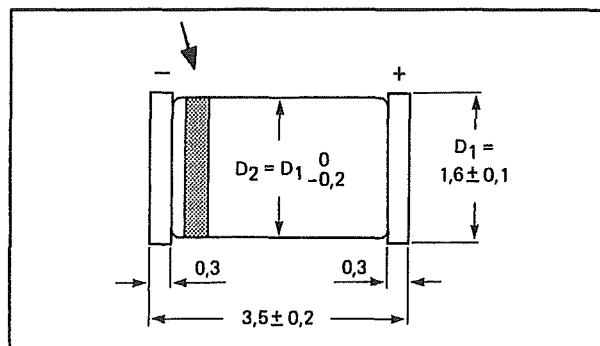
Figuur 6/6.18.10-16: De behuizing van de KTY84-1.

De KTY84-1 van Philips

De asymmetrische sensor KTY84-1 beschikt over de volgende eigenschappen:
- kleine DO-34 kunststof behuizing met twee aansluitdraden, zie figuur 6/6.18.10-16
- korte aanspreek tijdconstante
- N-geleidend silicium materiaal
- asymmetrische interne opbouw, dus gepolariseerd, de min van de voeding moet aan de kant met de streepjes
- maximale stroom: 3 mA
- meetbereik: 0 °C tot +300 °C
- weerstand bij +25 °C: 1 kΩ
- thermische tijdconstante in lucht: 20 s
- thermische tijdconstante in olie: 1 s

De KTY85-1 van Philips

De asymmetrische sensor KTY85-1 beschikt over de volgende eigenschappen:
- geschikt voor SMD-montage dank zij SOD-30 behuizing, zie figuur 6/6.18.10-17
- korte aanspreek tijdconstante
- N-geleidend silicium materiaal
- asymmetrische interne opbouw, dus gepolariseerd, de min van de voeding moet aan de kant met het streepje
- maximale stroom: 10 mA
- meetbereik: -50 °C tot +125 °C
- weerstand bij +25 °C: 1 kΩ
- thermische tijdconstante in lucht: 20 s
- thermische tijdconstante in olie: 1 s

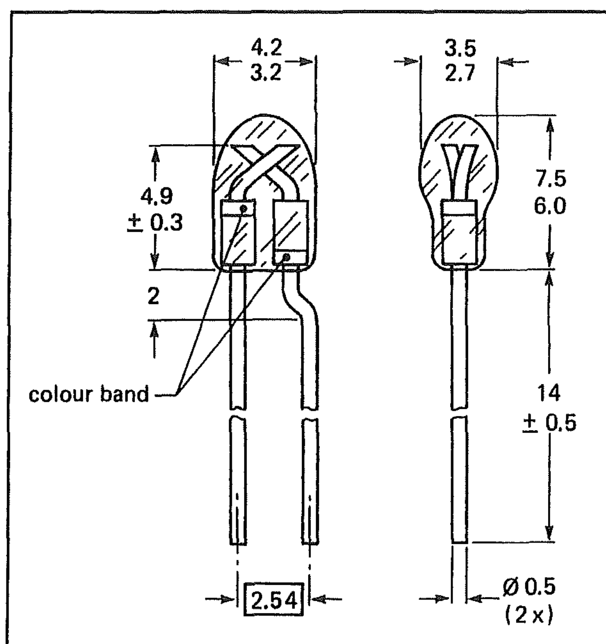


Figuur 6/6.18.10-17: De behuizing van de KTY85-1.

De KTY86-205 van Philips

De symmetrische KTY86-205 is geselecteerd op minimale toleranties en beschikt over de volgende eigenschappen:
- kleine kunststof behuizing met twee aansluitdraden, zie figuur 6/6.18.10-18
- korte aanspreek tijdconstante
- N-geleidend silicium materiaal
- symmetrische interne opbouw
- maximale stroom: 10 mA
- meetbereik: -40 °C tot +150 °C
- weerstand bij +25 °C: 2 kΩ +/-10 Ω
- thermische tijdconstante in lucht: 30 s

– thermische tijdconstante in olie: 2,2 s



Figuur 6/6.18.10-18: De behuizing van de KTY86-205.

Praktijktip's

Inleiding
Zoals reeds eerder in de paragraaf over de algemene basisprincipes is vermeld, zijn de KTY temperatuursensoren geschikt voor temperatuurmetingen waarbij een gemiddelde nauwkeurigheid voldoende is. Daarnaast moet bij toepassingen rekening worden gehouden met de beperkingen ten aanzien van het bedrijfstemperatuurbereik van maximaal -50 °C tot +300 °C. Hierbij kan worden opgemerkt dat met een instelstroom van circa 1 mA de zelfopwarming en de daaraan gekoppelde meetonnauwkeurigheden kunnen worden voorkomen. Volgens de basis vierkantsvergelijking die bij de zwak gekromde parabool hoort voor het weerstandsverloop binnen het temperatuurbereik, is natuurkundig een niet-lineair gedrag bepaald. Voor analoge temperatuurindicatoren en als ingangssignaal voor A/D-omzetters zijn echter absoluut lineaire karakteristieken een eerste vereiste.

Linearisatie van de karakteristiek
Om het gewenste lineaire verband te verkrijgen, kan op de methode van linearisatie van de karakteristiek rond het betreffende werkpunt worden teruggegrepen. Een en ander kan al worden gerealiseerd met een extra in parallel of in serie geschakelde weerstand waarmee het lineaire gedrag nagenoeg wordt bereikt. De optimale weerstandswaarde R_L is afhankelijk van het temperatuurbereik waarbinnen de sensor moet worden toegepast. De waarde kan worden berekend met de formule die in figuur 6/6.18.10-19 is gegeven.

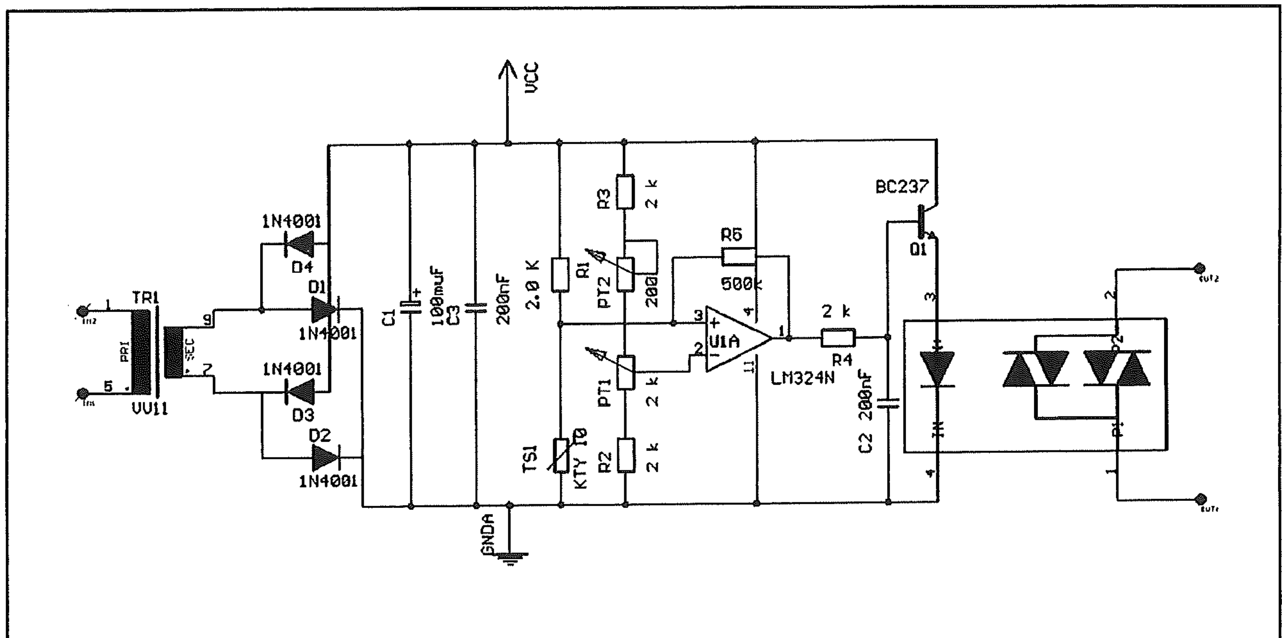
$$R_L = \frac{R_m \cdot (R_o + R_u) - 2\,R_o \cdot R_u}{R_o + R_u - 2\,R_m}$$

Figuur 6/6.18.10-19: De formule voor het berekenen van de linearisatieweerstand.

In deze formule staan:
- R_L: extra parallelle of seriële weerstand voor de linearisatie
- R_0: sensorweerstand bij de bovenste meettemperatuur
- R_m: sensorweerstand bij de gemiddelde meettemperatuur
- R_u: sensorweerstand bij de laagste meettemperatuur

Voor het berekenen van de waarde van de linearisatieweerstand maakt het niet uit of R_L parallel of in serie met de sensorweerstand wordt opgenomen.

6.18 Sensor-IC's



Figuur 6/6.18.10-20: Een eenvoudige automatische temperatuurschakelaar.

Verwerking van de meetgegevens

Voor de verwerking van het sensorsignaal in moderne elektronicasystemen wordt bij voorkeur gebruik gemaakt van de methode waarbij de meetspanning aan de A/D-ingang van respectievelijk een microbesturing en van een microprocessorsysteem wordt toegevoerd. Onderdeel van een dergelijke verwerkingsschakeling is het opnemen van de sensor in een brugschakeling met voeding vanuit een gestabiliseerde referentiebron, die garant staat voor de werkstroom van circa 1 mA (voorkomen van zelfopwarming van de sensor). Een en ander wordt gekoppeld aan een brugversterker die de meetspanning omzet naar een niveau van 0 V tot +5 V. De brugaftakking waarin de sensor is opgenomen dient ten aanzien van de voorschakelweerstand van de sensor zodanig te worden uitgevoerd dat er een linearisatie van het weerstandsverloop wordt verkregen. Met dergelijke schakelingen kunnen, wanneer er afregeling aan de uiteinden van het bereik plaatsvindt, resoluties van 20 mV/°C tot 50 mV/°C worden bereikt bij een onnauwkeurigheid van maximaal +/-0,5 °C over een meetbereik van 0 °C tot +100 °C.

Praktische schakeling

Tot slot wordt in figuur 6/6.18.10-20 het schema gegeven van een eenvoudige temperatuurschakelaar met een KTY10 als temperatuursensor. De sensor is in een brugschakeling opgenomen, waarvan de ene diagonaal gevoed wordt tussen de massa en de positieve voedingsspanning en de andere diagonaal aan de ingangen van een verschilversterker wordt aangeboden.

Met de twee instelpotentiometers kan men de schakeling ijken en de temperatuur instellen waarbij de schakelaar moet sluiten. De uitgang van de verschilversterker stuurt via een transistor de LED van een optische koppelaar in geleiding. Secundair bevat dit onderdeel twee parallel geschakelde fotogevoelige triac's. Deze schakelen de belasting in en uit.

6.18 Sensor-IC's

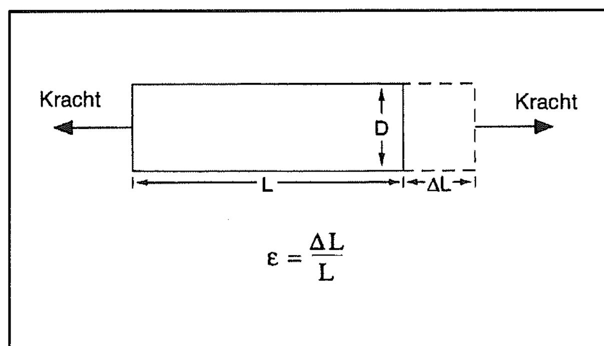
6/6.18.11

Rekstrookjes in theorie en praktijk

Rekstrookjes

Wat is rek?

Rek is de hoeveelheid deformatie of vervorming van een lichaam ten gevolge van een hierop uitgeoefende kracht. Meer specifiek wordt de rek, voorgesteld door de Griekse letter ε, gedefinieerd als de fractionele verandering in de lengterichting, zie figuur 6/6.18.11-1.



Figuur 6/6.18.11-1: De natuurkundige definitie van rek.

Rek kan zowel positief van aard (tensile - uitrekbaar) als negatief (compressive - samendrukbaar) zijn. Alhoewel dimensieloos wordt rek soms uitgedrukt in eenheden zoals inch/inch of mm/mm. In de praktijk is de grootte van de gemeten rek uiterst klein. Daarom wordt de rek vaak uitgedrukt in microrek (με), hetgeen overeenkomt met één/miljoenste van de eenheid ε.

Wanneer een staaf wordt uitgerekt door middel van een uni-axiale kracht, zoals in figuur 6/6.18.11-1, dan wordt de omvang D van de staaf samengetrokken in laterale richting, dus in de lengterichting van de staaf. Dit fenomeen wordt de rek van Poisson genoemd. De grootte van deze samentrekking is materiaalafhankelijk en wordt uitgedrukt door de verhouding van Poisson, voorgesteld voor *v*.

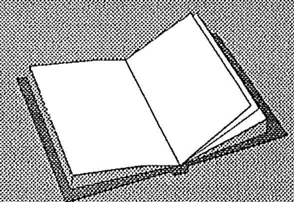
De verhouding van Poisson

De verhouding van Poisson van een materiaal wordt gedefinieerd als de negatieve verhouding van de rek in transversale richting (loodrecht op de kracht) ten opzichte van de rek in laterale richting (parallel aan de kracht), ofwel:

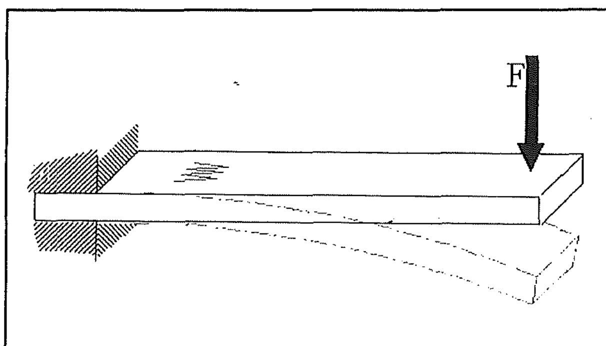
$v = -\varepsilon_T/\varepsilon$

De verhouding van Poisson voor staal loopt bijvoorbeeld van 0,25 tot 0,3.

LEES OOK:
Hoofdstuk 3/4.4

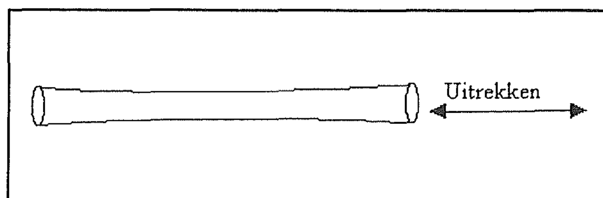


Rek door een transversale kracht
Niet iedere rek is een gevolg van een laterale kracht. Rek kan ook ontstaan doordat een kracht transversaal of loodrecht op een voorwerp wordt uitgeoefend. Zoals geschetst in figuur 6/6.18.11-2 zal het voorwerp hierdoor gaan verbuigen. Het materiaal vervormt, wordt aan de bovenzijde uitgerokken en aan de onderzijde samengedrukt. Ook dit is een vorm van rek, want op miniatuur schaal kan men de twee oppervlakken van het materiaal beschouwen als bestaande uit rechte lijnstukjes die voldoen aan de hogervermelde definitie van rek.



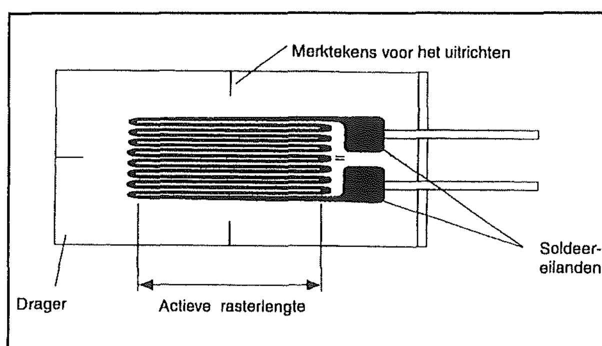
Figuur 6/6.18.11-2: Het ontstaan van rek als gevolg van buiging van een voorwerp.

Wat zijn rekstrookjes?
Een rekstrookje is een opnemer voor het meten van de kleine lengteveranderingen die ontstaan door rek. Het is in wezen niet meer dan een draad met een bepaalde weerstand. Als deze draad van lengte verandert doordat er krachten op worden uitgeoefend zal ook de weerstand variëren. Een dikker wordende draad resulteert in een lagere weerstand, een dunner wordende draad levert een hogere weerstand op. De vervorming van de weerstandsdraad in een rekstrookje is, overdreven voorgesteld, geschetst in figuur 6/6.18.11-3.



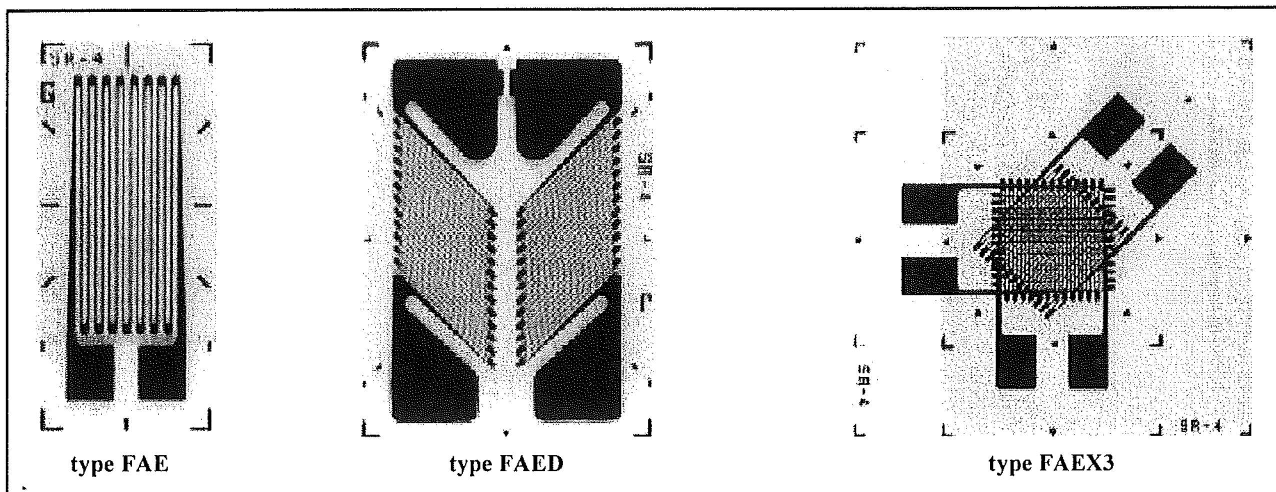
Figuur 6/6.18.11-3: De vervorming van de rekdraad als gevolg van een kracht die op de draad wordt uitgeoefend.

Hoewel er andere methoden zijn om rek te meten, wordt toch doorgaans het in wezen zeer ouderwets rekstrookje toegepast. Zo is bijvoorbeeld het modernere piëzo-resistieve rekstrookje een halfgeleidercomponent waarvan de weerstand niet-lineair varieert met de rek. Dat is natuurlijk vervelend. Het meest toegepast wordt daarom een metalen rekstrookje in de vorm van een strip. Zo'n rekstrookje bestaat uit een heel dunne draad of, meer algemeen, uit een metalen folie in de vorm van een rasterpatroon. Het rasterpatroon impliceert een maximale hoeveelheid metalen draad of folie, die bloot staat aan rek in de parallelle richting, zie figuur 6/6.18.11-4.



Figuur 6/6.18.11-4: De standaard uitvoering van een traditioneel rekstrookje.

6.18 Sensor-IC's



Figuur 6/6.18.11-5: Praktische uitvoeringen van rekstrookjes.

Het dwarsdoorsnedegebied van het raster is minimaal om het effect te reduceren van loodrechte rek en de rek van Poisson. Het raster is aangebracht op een dunne ondergrond die drager wordt genoemd en die meestal rechtstreeks op het te testen object wordt gelijmd. Zodoende wordt de rek die het te testen object ondergaat rechtstreeks overgedragen op het rekstrookje, dat reageert met een verandering van de elektrische weerstand. Binnen zekere grenzen is deze relatieve weerstandsverandering lineair evenredig met de relatieve lengteverandering, ofwel met de rek van de weerstandsdraad.

Uitvoeringsvormen

Naast de in figuur 6/6.18.11-4 voorgestelde standaard uitvoeringsvorm van een enkelvoudig rekstrookje, worden er complexere exemplaren op de markt gebracht. Meestal worden deze gebruikt bij metingen in materiaalanalyse. In figuur 6/6.18.11-5 zijn een paar praktische uitvoeringsvormen van rekstrookjes voorgesteld. Rekstrookjes zijn verkrijgbaar met nominale weerstandswaarden van 30 Ω tot 3000 Ω, waarbij 120 Ω, 350 Ω en 1000 Ω de meest gangbare waarden zijn.

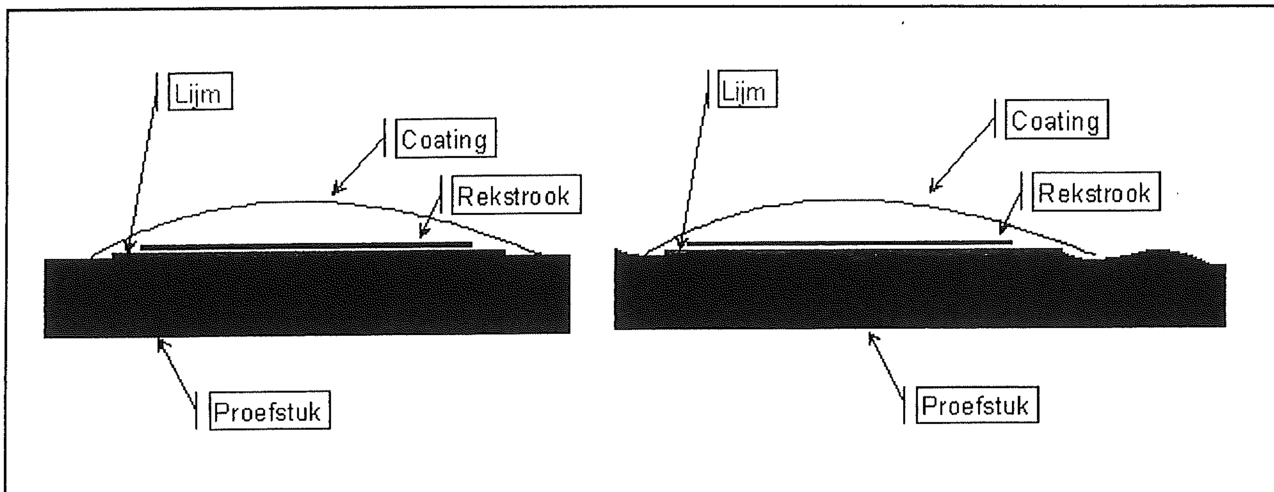
De montage van rekstrookjes

Het is zeer belangrijk dat het rekstrookje correct wordt gemonteerd op het te testen object. Alleen dan wordt de rek nauwkeurig van het te testen lichaam, via de lijm en de drager van het rekstrookje, overgebracht op de folie zélf. Fabrikanten van rekstrookjes vormen de beste informatiebron voor een juiste montage van het rekstrookje.

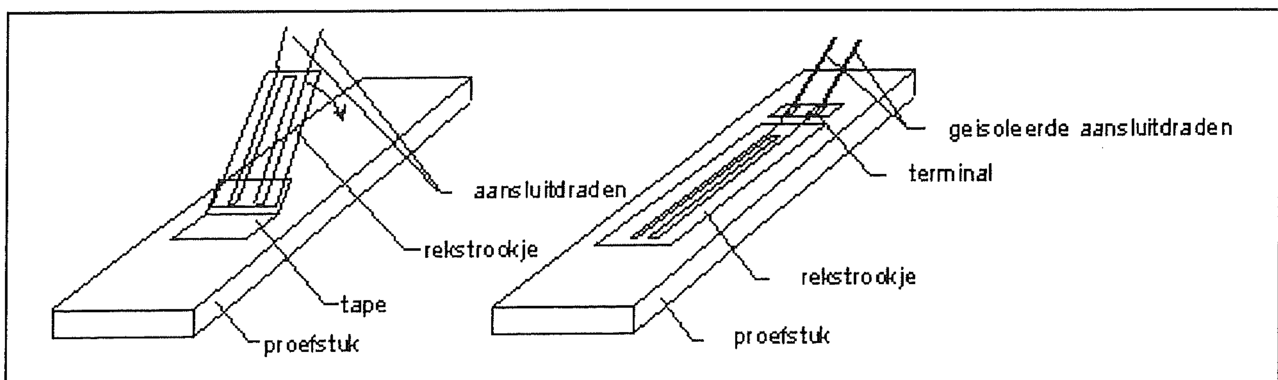
De noodzakelijke afmetingen van het rekstrookje worden bepaald door de afmetingen van het proefstuk en/of hoe lokaal men de rek wil meten. Bij een uniforme rek speelt dit laatste geen rol. De lijmsoort wordt voornamelijk bepaald door de ruwheid van het oppervlak van het proefstuk. Het rekstrookje moet namelijk zo dicht mogelijk op het proefstuk komen te liggen om de mechanische vervorming van het proefstuk zo goed mogelijk te kunnen volgen. Bij een glad oppervlak kan men één-secondelijm op acrylaat-basis gebruiken.

Bij een ruw oppervlak zal een vullende lijm gekozen worden om een zo ideaal mogelijk contact te krijgen. Beide verlijmingsmethoden zijn voorgesteld in figuur 6/6.18.11-6.

6.18 Sensor-IC's



Figuur 6/6.18.11-6: Twee systemen voor het verlijmen van rekstrookjes op de ondergrond.



Figuur 6/6.18.11-7: Het monteren van een rekstrookje op een voorwerp.

Om rekstroken op een goede manier aan te brengen is enige zorgvuldigheid vereist. Vandaar dat het verstandig is om volgens onderstaand schema te werken.

- Noteer de GF-factor die op de verpakking staat.
- Zorg dat het oppervlak waarop het rekstrookjes geplaatst moet worden goed schoon, droog en vooral vetvrij is (maak zo nodig het oppervlak vetvrij met alcohol, of schuur het oppervlak licht).
- Voorzie het rekstrookje van een stukje tape.
- Breng het rekstrookje met de tape op de juiste plaats op het proefstuk aan.

Let op dat de tekst op het rekstrookje leesbaar is als het rekstrookje op het proefstuk zit, omdat er anders kortsluiting van het rekstrookje kan optreden door de geleiding van het proefstuk.

- Breng de lijm aan.
- Klap het rekstrookje om zodat het op het proefstuk komt te liggen.
- Leg over het rekstrookje een stukje teflonfolie.
- Druk het rekstrookje aan en wacht tot de lijm voldoende is gehard, wrijf de eventuele luchtbellen tussen het te lijmen oppervlak en de rekstrook uit.
- Verwijder het teflon en het stukje tape.

- Laat het geheel nu verder uitharden (droogtijd volgens lijmverpakking).
- Voer, ter controle, een weerstandsmeting uit tussen het rekstrookje en het proefstuk. Deze weerstand moet oneindig hoog zijn.
- Indien er geen terminal aan de rekstrook zit: lijm de terminal op het proefstuk en soldeer de aansluitdraden van het rekstrookje aan de terminal.
- Meet de weerstand van het rekstrookje en de meetdraden, deze moet ongeveer 120 Ω bedragen.
- Als blijkt dat alles goed is isoleert men de aansluitingen op de terminal met lijm.

In figuur 6/6.18.11-7 is deze procedure in beeld gebracht.

Specificaties van rekstrookjes

De gevoeligheid

Een fundamentele parameter van een rekstrookje is diens gevoeligheid voor rek, kwantitatief uitgedrukt door de rekfactor GF (Gauge Factor). De rekfactor wordt gedefinieerd als de verhouding van de fractionele verandering van de elektrische weerstand ten opzichte van de fractionele verandering in lengte (rek):

$GF = [\Delta R/R] / [\Delta L/L]$

Deze formule kan ook worden geschreven als:

$GF = [\Delta R/R] / \varepsilon$

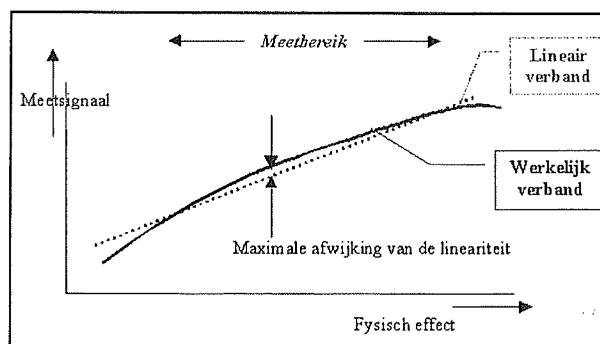
De rekfactor voor metalen rekstrookjes ligt meestal rond de 2.

De temperatuursinvloeden

In het ideale geval wil men dat de weerstand van het rekstrookje alleen verandert ten gevolge van de rek die erop wordt uitgeoefend. Echter, het materiaal van het rekstrookje, alsook het materiaal waarop het rekstrookje wordt bevestigd, zullen ook reageren op temperatuurveranderingen. Fabrikanten van rekstrookjes trachten de temperatuurgevoeligheid zo gering mogelijk te houden door het materiaal van het rekstrookje tijdens de fabricage te compenseren voor thermische uitzetting van het specifieke materiaal waarvoor het rekstrookje is bedoeld. Hoewel gecompenseerde rekstrookjes de thermische gevoeligheid reduceren, is een volledige compensatie toch niet mogelijk. Neem bijvoorbeeld een rekstrookje dat is gecompenseerd voor aluminium met een temperatuurscoëfficiënt van 23 ppm/°C. Met een nominale weerstand van 1000 Ω en een GF van 2 zal de equivalente rekfout nog steeds 11,5 µε/°C bedragen.
Daarom is extra temperatuurcompensatie van belang, hetgeen een later te bespreken schakeltechnisch probleem is.

De lineariteit

In de inleiding werd reeds gesteld dat rekstrookjes van weerstandsdraad binnen een bepaald bereik tamelijk lineair reageren op de lengtevariatie. Toch zit er ook in dit gebied een bepaalde niet-lineariteit, voorgesteld in figuur 6/6.18.11-8.

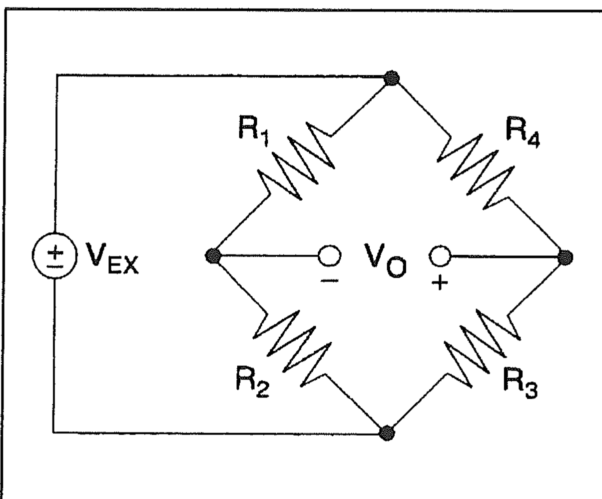


Figuur 6/6.18.11-8: De niet-lineariteit van een rekstrookje.

Metingen met rekstrookjes

Inleiding

In de praktijk levert een rekmeting zelden hoeveelheden rek op die groter zijn dan enkele millirek. Daarom vereist het meten van rek een nauwkeurige meting van zeer kleine weerstandsveranderingen. Stel dat bijvoorbeeld een testobject een substantiële rek van 500 $\mu\varepsilon$ ondergaat. Een rekstrookje met een rekfactor van GF = 2 zal een verandering in de elektrische weerstand laten zien van slechts:
$2 \times (500 \times 10^{-6}) = 0{,}1\ \%$.
Voor een rekstrookje van 120 Ω betekent dit een verandering van slechts 0,12 Ω.



Figuur 6/6.18.11-9: Het opnemen van een rekstrookje in een brugschakeling.

Brugschakeling

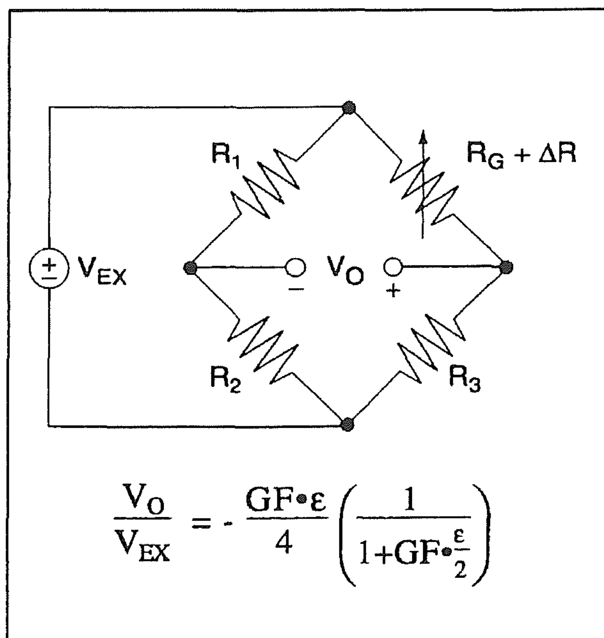
Om dergelijke kleine weerstandsveranderingen te kunnen meten en om tevens zoals hierboven omschreven de temperatuurgevoeligheid te compenseren, worden rekstrookjes bijna altijd toegepast in een brugconfiguratie met een spanning of stroom als excitatiebron. De standaard brug van Wheatstone bestaat uit vier weerstanden waaraan een excitatiespanning, V_{EX}, wordt toegevoerd, zie figuur 6/6.18.11-9.
De uitgangsspanning van de brug, V_o, wordt gegeven door de formule van figuur 6/6.18.11-10.

$$V_O = \left[\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_2}\right] \bullet V_{EX}$$

Figuur 6/6.18.11-10: De uitgangsspanning van de schakeling van figuur 6/6.18.11-9.

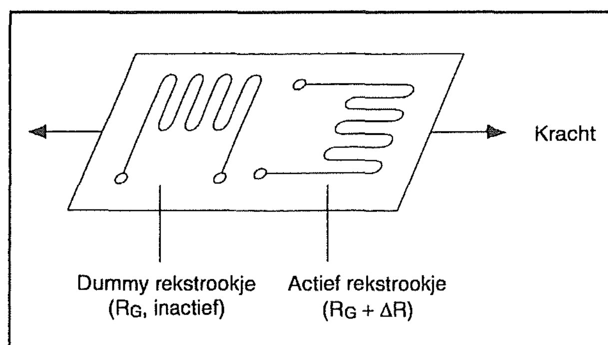
Uit deze vergelijking kan worden afgeleid dat wanneer: $R_1/R_2 = R_3/R_4$
de uitgangsspanning V_o gelijk zal zijn aan nul. Onder deze voorwaarden wordt gezegd dat de brug “in balans” is. Elke verandering in de weerstand van een willekeurige arm van de brug zal er toe leiden dat de uitgangsspanning ongelijk wordt aan nul.
Wordt R4 in figuur 9 vervangen door een actief rekstrookje, dan zal elke verandering in de weerstand van het rekstrookje een onbalans van de brug tot gevolg hebben en een uitgangsspanning opleveren die ongelijk is aan nul. Wanneer de nominale weerstand van het rekstrookje wordt aangeduid met R_G, dan kan de door de rek veroorzaakte weerstandsverandering, ΔR, worden uitgedrukt als:
$\Delta R = R_G * GF * \varepsilon$
Stel verder dat R1 = R2, dan kan de bovenstaande brugvergelijking worden herschreven om V_o/V_{EX} uit te drukken als een functie van de rek, zie figuur 6/6.18.11-11.

6.18 Sensor-IC's



$$\frac{V_O}{V_{EX}} = -\frac{GF \bullet \varepsilon}{4}\left(\frac{1}{1+GF\bullet\frac{\varepsilon}{2}}\right)$$

Figuur 6/6.18.11-11: De verhouding tussen de voedingspanning en de uitgangsspanning.



Figuur 6/6.18.11-12: Het compenseren van de temperatuursinvloed door het toepassen van een dummy rekstrookje.

De aanwezigheid van de factor tussen de grote haken houdt rekening met de niet-lineariteit van het rekstrookje.

Eigenschappen van de brug

Het uitgangssignaal van de brug wordt daarna versterkt, gemeten en verwerkt.

De brug van Wheatstone is een brugschakeling waarmee men zeer kleine weerstanden of weerstandsveranderingen kan meten. Ideaal is een volkomen symmetrisch opgebouwde brug van Wheatstone. Niet alleen de weerstand van de rekstrookjes in de brug maar ook de verbindingsleidingen van en naar de brug dienen zo symmetrisch mogelijk te zijn. Dat wil zeggen dat de elementen dezelfde soortelijke weerstand, doorsnede, lengte en temperatuurscoëfficiënt moeten hebben om een optimaal meetresultaat verkrijgen. Ook bij half- en kwartbrug schakelingen (lees verder) is de symmetrie belangrijk.

Temperatuurcompensatie

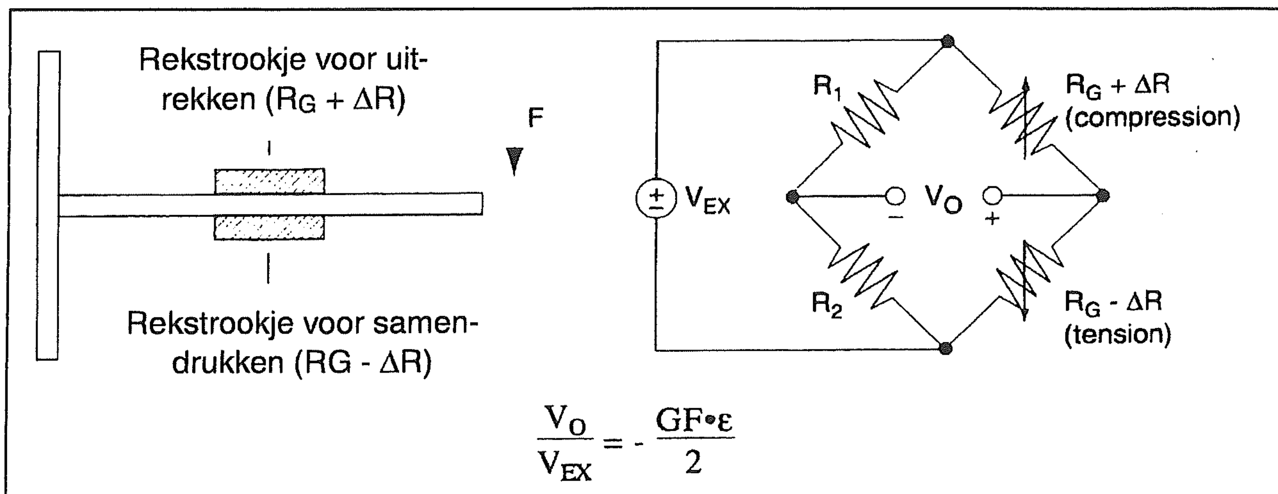
Door gebruik te maken van twee rekstrookjes in de brug kan de invloed van de temperatuur worden tegengegaan. In figuur 6/6.18.11-12 is bijvoorbeeld een configuratie weergegeven met rekstrookjes, waarbij het ene rekstrookje actief is en het tweede rekstrookje transversaal ten opzichte van de uitgeoefende rek is aangebracht. Dientengevolge heeft de rek weinig effect op het tweede rekstrookje, dat een dummy rekstrookje wordt genoemd.

Wel zal elke temperatuurverandering de beide rekstrookjes op eenzelfde manier beïnvloeden. Omdat de temperatuurveranderingen voor beide rekstrookjes gelijk zijn, zal de verhouding van hun respectieve weerstand niet veranderen, de spanning V_O wijzigt zich niet en de effecten van temperatuurschommelingen zullen minimaal zijn.

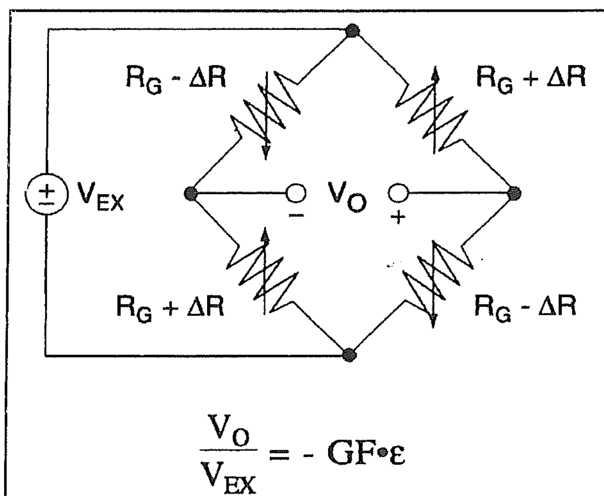
Verhogen van de gevoeligheid

De gevoeligheid van de brug voor rek kan ook worden verdubbeld door de beide rekstrookjes actief te maken, zij het in verschillende richtingen.

6.18 Sensor-IC's



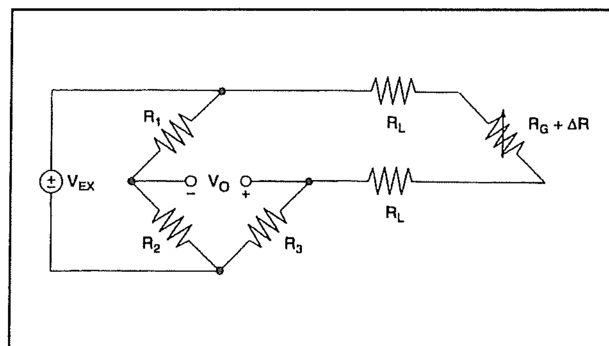
Figuur 6/6.18.11-13: Het verhogen van de gevoeligheid door te meten met twee rekstrookjes.



Figuur 6/6.18.11-14: Verhogen van de gevoeligheid door vier rekstrookjes in de meting op te nemen.

Figuur 6/6.18.11-13 toont bijvoorbeeld een applicatie van een buigende mast (antenne) waarbij het ene rekstrookje is gemonteerd voor uitrekken en het andere is gemonteerd voor samendrukken. Deze halve brug configuratie, waarvan de schakeling eveneens in figuur 6/6.18.11-13 is weergegeven, levert een lineaire uitgangsspanning en verdubbelt bij benadering het uitgangssignaal van de schakeling met een kwart brug.

Tenslotte kan de gevoeligheid van de schakeling nog meer worden vergroot door voor alle vier armen van de brug actieve rekstrookjes toe te passen, waarbij twee rekstrookjes voor uitrekken en twee voor samendrukken worden gemonteerd. De schakeling van de hele brug is weergegeven in figuur 6/6.18.11-14.



Figuur 6/6.18.11-15: De invloed van de weerstanden in de aansluitdraden naar het rekstrookje.

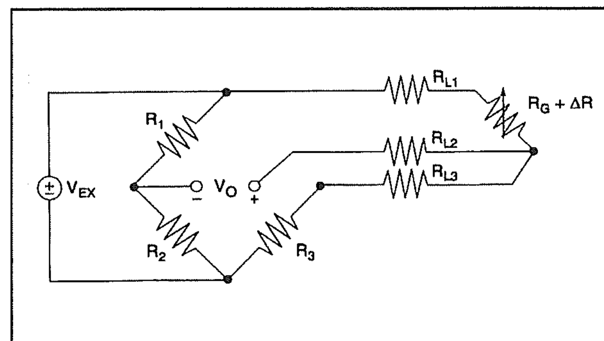
Weerstand van de toevoerdraden

Bij de figuren en formules in de voorgaande paragrafen is geen rekening gehouden met de weerstand in de toevoerdraden van het rekstrookje. Hoewel het negeren

6.18 Sensor-IC's

van deze weerstand aantrekkelijk is om het principe van metingen met rekstrookjes te verduidelijken, is dit in de praktijk niet zonder risico's. Neem bijvoorbeeld de tweedraadsverbinding van een rekstrookje getekend in figuur 6/6.18.11-15. Stel dat elke draad die met het rekstrookje is verbonden een lengte heeft van 15 m met een draadweerstand R_L van 1 Ω. Daardoor zal de draadweerstand 2 Ω aan de arm van de brug toevoegen. Naast deze extra offsetfout, zal de draadweerstand ook de uitgang van de brug ongevoeliger maken. De afname van de gevoeligheid kan worden gekwantificeerd met behulp van een term $(1 + R_L/R_G)$. Deze fout kan worden gecompenseerd door de draadweerstand R_L te bepalen en de gemeten waarde toe te passen in de formules (zie later).
Er ontstaat echter een nog groter probleem door veranderingen in de draadweerstand ten gevolge van temperatuurschommelingen. Uitgaande van de gangbare temperatuurcoëfficiënten voor koperdraad, kan een kleine temperatuurverandering resulteren in een meetfout van meerdere procenten.

Voorkeurschakeling
Om deze redenen is de aanbevolen schakeling voor kwart brug rekstrookjes een driedraadsverbinding, zie figuur 6/6.18.11-16. In deze configuratie zijn R_{L1} en R_{L3} in dezelfde arm van de brug opgenomen, waardoor eventuele weerstandsveranderingen ten gevolge van temperatuurschommelingen elkaar zullen opheffen.
De weerstand in de derde draad, R_{L2}, is verbonden met de meetingang. Zodoende loopt er door deze draad een zeer kleine stroom en is het effect van zijn weerstand te verwaarlozen.



Figuur 6/6.18.11-16: De voorkeurschakeling van een rekstrookje in een kwart brug configuratie.

Praktische configuraties

Inleiding
Rekstrookjes kunnen dus op vier verschillende methoden in een brug worden opgenomen: als kwart, halve en als hele brug. Bij de formules die hier voor de brug van Wheatstone zijn gegeven, is er van uitgegaan dat de brug in aanvang in balans is en dat er geen uitgangssignaal V_o ontstaat wanneer er geen rek wordt toegevoerd. In de praktijk ontstaat er in het begin echter een kleine offsetspanning ten gevolge van weerstandstoleranties en rek die door de verlijming wordt veroorzaakt. Deze initiële offsetspanning kan op twee manieren worden weggewerkt. Op de eerste plaats kan er gebruik worden gemaakt van een speciale offsetonderdrukking of balanceerschakeling om de weerstand van de brug aan te passen, zodat de uitgangsspanning van de brug weer nul volt wordt. Een tweede methode is om het initiële uitgangssignaal van de mechanisch onbelaste schakeling te meten en een en ander vervolgens via software te compenseren. In de figuren 6/6.18.11-18 tot en met -24 zijn de diverse

praktische meetmethoden samengevat mét hun formules. Hierbij is de rek zodanig uitgedrukt dat al rekening is gehouden met de initiële uitgangsspanningen. Bij deze formules is tevens rekening gehouden met de invloed van de weerstand in de toevoerdraden die met de rekstrookjes zijn verbonden.

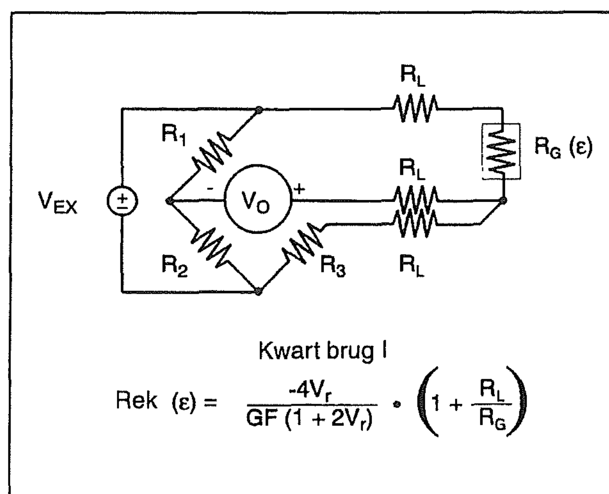
Definities
Om de formules te vereenvoudigen en tevens rekening te houden met ongebalanceerde bruggen in onbelaste toestand, wordt de verhouding V_r ingevoerd, zie figuur 6/6.18.11-17.

$$V_r = \frac{V_{O\,(belast)} - V_{O(onbelast)}}{V_{EX}}$$

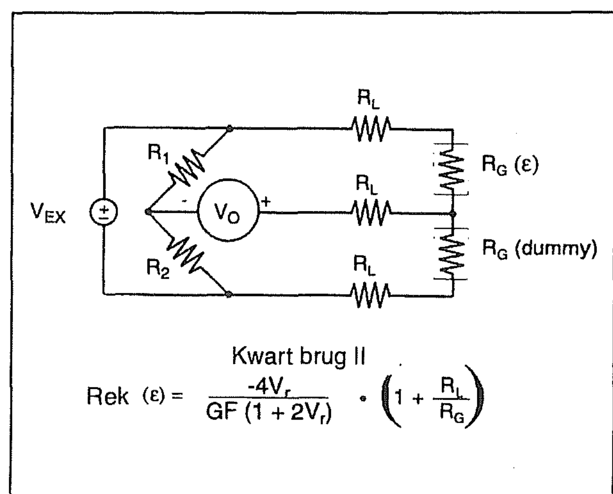
Figuur 6/6.18.11-17: De formule voor het berekenen van de factor V_r.

Hierbij is $V_{O(belast)}$ het gemeten uitgangssignaal bij rek en is $V_{O(onbelast)}$ de initiële, onbelaste uitgangsspanning. V_{EX} is de excitatie- of voedingsspanning.
Verder geven de aanduidingen (+ε) en (-ε) actieve rekstrookjes aan, gemonteerd in respectievelijk uitrek- en samendrukrichting. De aanduiding (-*v*ε) geeft aan dat het rekstrookje is gemonteerd in transversale richting, zodat zijn weerstandsverandering hoofdzakelijk wordt veroorzaakt door de rek van Poisson die wordt aangeduid als -*v*ε.
Andere grootheden die in de formules zijn gebruikt:
- R_G:
  nominale weerstandswaarde van een rekstrookje;
- R_L:
  draadweerstand;
- G_F:
  rekfactor van het rekstrookje.

De configuraties
In onderstaande figuren zijn zeven praktische meetconfiguraties weergegeven, met de formule voor het berekenen van de rek ε.

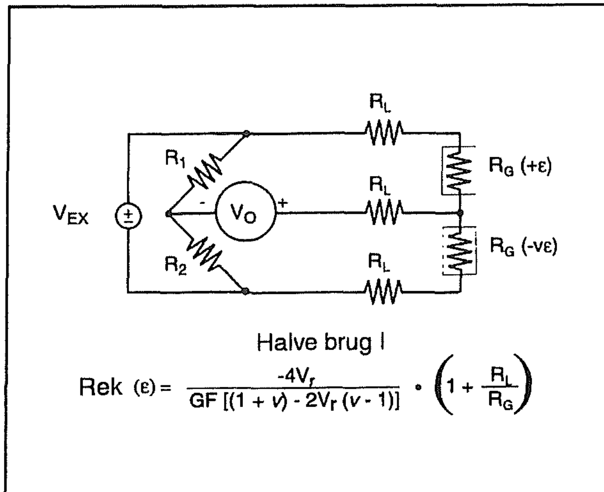


Figuur 6/6.18.11-18: Kwart brug configuratie, methode 1.

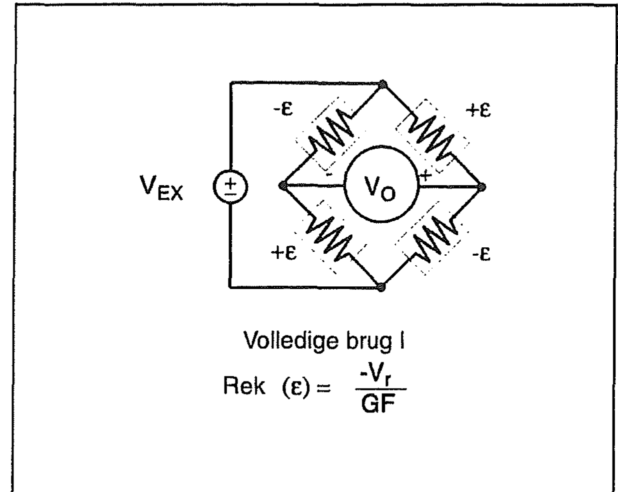


Figuur 6/6.18.11-19: Kwart brug configuratie, methode 2.

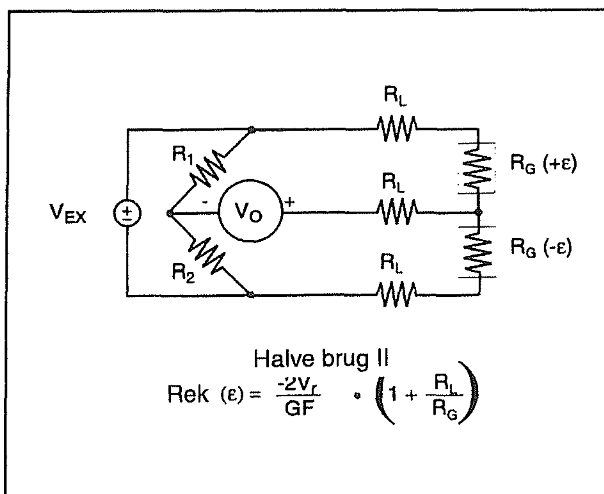
6.18 Sensor-IC's



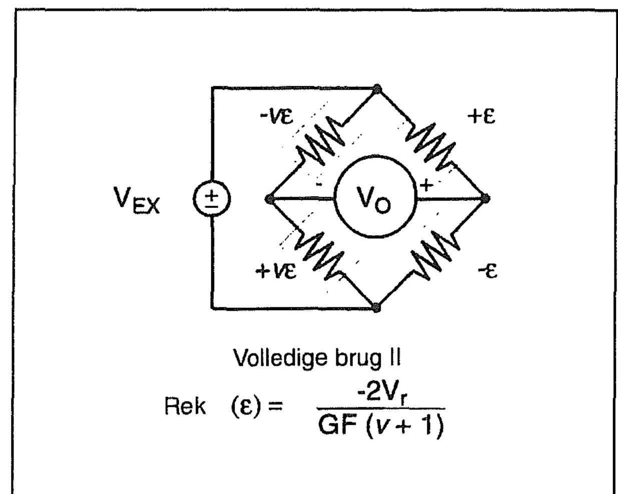
Figuur 6/6.18.11-20: Halve brug configuratie, methode 1.



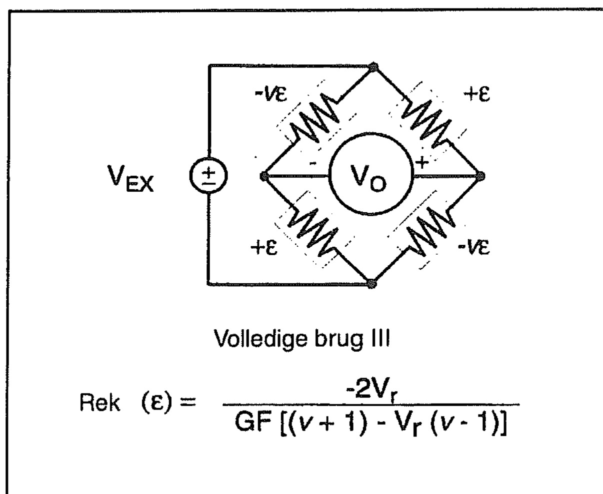
Figuur 6/6.18.11-22: Volle brug configuratie, methode 1.



Figuur 6/6.18.11-21: Halve brug configuratie, methode 2.



Figuur 6/6.18.11-23: Volle brug configuratie, methode 2.

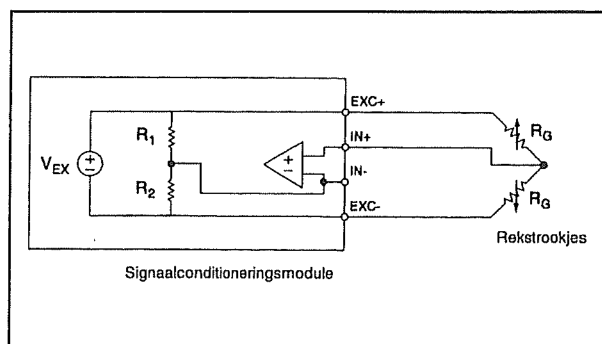


Figuur 6/6.18.11-24: Volle brug configuratie, methode 3.

Signaalconditionering voor rekstrookjes

Inleiding
Metingen met rekstrookjes hebben als doel om uiterst kleine weerstandsveranderingen te detecteren. Daarom zijn een juiste keuze en een correct gebruik van het type brug, signaalconditionering, bedrading en de data-acquisitie componenten een eerste vereiste om betrouwbare metingen te kunnen uitvoeren.

Brugaanvulling
Het is noodzakelijk om de brug aan te vullen met referentieweerstanden tenzij gebruik wordt gemaakt van een hele brug sensor met vier actieve rekstrookjes. Daarom zijn signaalconditioneringsmodulen voor rekstrookjes doorgaans voorzien van halve brug aanvullingsnetwerken in de vorm van twee zeer nauwkeurige referentieweerstanden. In figuur 6/6.18.11-25 is een schema afgebeeld van een halve brug schakeling met rekstrookjes die is aangesloten op een signaalconditioneringsmodule met de aanvullingsweerstanden R1 en R2. De nominale weerstand van de aanvullingsweerstanden is minder belangrijk dan de nauwkeurigheid waarmee de weerstanden aan elkaar gelijk zijn. In het ideale geval zijn de weerstandswaarden exact even groot en leveren ze een stabiele referentiespanning van $V_{EX}/2$ aan de negatieve ingangsdraad van het meetkanaal. De hoge waarde van de aanvullingsweerstanden draagt er toe bij dat de excitatiespanningsbron zo min mogelijk wordt belast.



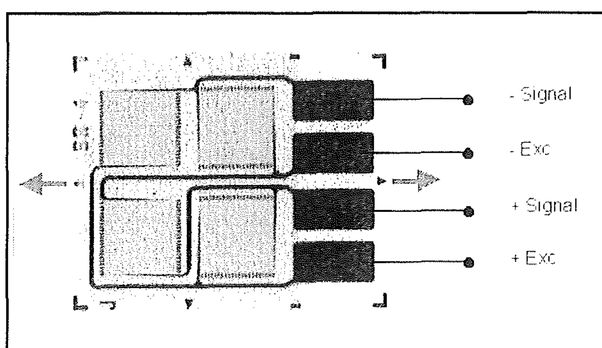
Figuur 6/6.18.11-25: Het aansluiten van een meetbrug met rekstrookjes op een signaalconditioneringsmodule.

In de handel zijn rekstrookjes die volledig zijn ingericht op het werken in volle brug configuratie met voeding vanuit een signaalconditioneringsmodule. Als voorbeeld is in figuur 6/6.18.11-26 de FAE-4-A6257J-120-SXE van BLH voorgesteld, met de aansluitgegevens voor de twee signaal- en de twee EXC-spanningen.

Brugexcitatie
Signaalconditioneringsmodulen voor rekstrookjes bevatten meestal een con-

6.18 Sensor-IC's

stante spanningsbron om de brug te voeden. Omdat er geen standaard spanningsniveau is overeengekomen dat industriebreed wordt gedragen, komen er excitatiespanningsniveaus tussen 3 V en 10 V voor. Een hogere excitatiespanning levert een naar verhouding hogere uitgangsspanning op, maar de hogere spanning kan tevens grotere afwijkingen introduceren tengevolge van zelfopwarming.
In dit verband wordt nogmaals opgemerkt dat het uiterst belangrijk is dat de excitatiespanning zeer nauwkeurig en stabiel is. Mocht dit niet zo zijn en moet er een minder nauwkeurige of stabiele spanning worden gebruikt, dan dient de excitatiespanning nauwkeurig te worden gemeten zodat de juiste rek kan worden berekend.



Figuur 6/6.18.11-26: Een praktijkvoorbeeld van een rekstrookjessensor die is voorbereid voor het samenwerken met een signaalconditioneringsmodule.

Excitatiespanning meten

Wanneer de schakeling met rekstrookjes zich op grote afstand van de signaalconditioneringsmodule en de excitatiebron bevindt, kan het spanningsverlies een mogelijke oorzaak van de afwijking zijn. Dit spanningsverlies wordt veroorzaakt door de weerstand in de draden die de excitatiespanning met de brug verbinden. Om deze fout te compenseren, bieden sommige signaalconditioneringsmodulen een voorziening die "remote sensing" (meten op afstand) wordt genoemd. Hiervoor zijn twee methoden algemeen gangbaar. Bij een teruggekoppelde meting (feedback remote sensing) worden extra meetdraden (sense wires) verbonden met hetzelfde punt waar ook de draden van de excitatiespanning zijn aangesloten op de brugschakeling. Deze extra meetdraden dienen om de excitatiespanningstoevoer te regelen teneinde spanningsverlies in de draden te compenseren en de benodigde spanning op de brug te leveren.
Een andere remote sensing methode maakt gebruik van een apart meetkanaal om rechtstreeks de excitatiespanning te meten die aan de brug wordt geleverd. Omdat de draden van het meetkanaal een zeer kleine stroom voeren, is het effect van de weerstand in de draden op de meting te verwaarlozen. De gemeten excitatiespanning wordt nu gebruikt bij de spanning-naar-rek omzetting om de verliezen te compenseren.

Signaalversterking

Het uitgangssignaal van rekstrookjes en brugschakelingen is betrekkelijk klein. In de praktijk leveren de meeste bruggen met rekstrookjes en op rek gebaseerde omzetters een uitgangssignaal van minder dan 10 mV/V (10 mV uitgangsignaal per 1 V excitatiespanning). Bij een excitatiespanning van 10 V bedraagt het uitgangssignaal 100 mV. Derhalve bevatten signaalconditioneringsmodulen voor rekstrookjes meestal versterkers om het signaalniveau en de meetresolutie te verhogen en om de signaal/ruis-verhouding te verbeteren.

Offsetcompensatie

Bij het installeren van een brugschakeling komt het zelden voor dat deze een uitgangsspanning levert van exact 0 V wanneer er geen rek wordt uitgeoefend. Het is waarschijnlijker dat kleine variaties in de weerstand van de armen van de brug en de weerstand in de draden een geringe initiële offsetspanning zullen opleveren. Er zijn verschillende manieren waarop een systeem deze initiële offsetspanning kan compenseren:

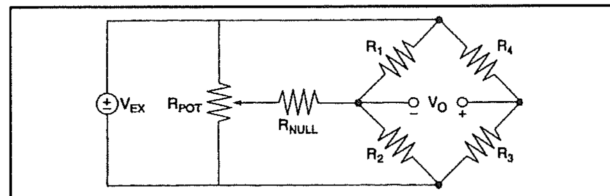
- software-compensatie;
- nulpuntinstelling;
- gebufferde nulpuntinstelling;
- shunt calibratie.

Software-compensatie

Deze methode compenseert de initiële spanning via de software. Volgens deze methode wordt er eerst een meting uitgevoerd voordat er rek wordt uitgeoefend. Deze initiële spanning wordt dan gebruikt bij de rekformules van de vorige paragraaf. Deze methode is eenvoudig, snel en vereist geen handmatige instellingen. Een nadeel is echter dat de offset van de brug niet wordt gecompenseerd. Is de offset groot, dan beperkt deze de versterkingsfactor die met de uitgangsspanning kan worden meegegeven waardoor het dynamische bereik van de meting wordt beperkt.

Nulpuntinstelling

Bij deze methode wordt gebruik gemaakt van een instelbare weerstand of potentiometer om de uitgangsspanning van de brug handmatig op nul in te stellen. In figuur 6/6.18.11-27 is bijvoorbeeld de nulpuntinstelling afgebeeld die heel vaak wordt toegepast. Door de stand van de potentiometer te wijzigen, kan het uitgangsniveau van de brug worden geregeld en kan het initiële uitgangssignaal op 0 V worden ingesteld. De waarde van R_{NULL} is bepalend voor het instelbereik van de schakeling.



Figuur 6/6.18.11-27: Offsetcompensatie door middel van een externe potentiometer.

Gebufferde nulpuntinstelling

Net als de softwaremethode beïnvloedt deze derde methode de brug niet rechtstreeks. Bij gebufferde nulpuntinstelling voegt een nulpuntschakeling een instelbare gelijkspanning toe aan het uitgangssignaal van de instrumentatieversterker.

Shunt calibratie

De gebruikelijke procedure om het uitgangssignaal van een meetsysteem voor rekstrookjes te controleren met betrekking tot bepaalde vooraf gedefinieerde mechanische invoer of rek wordt shunt calibratie genoemd. Bij shunt calibratie wordt het uitoefenen van rek gesimuleerd door de weerstand van één arm in de brug met een bekende waarde te wijzigen. Dit wordt gedaan door het aanbrengen van een shuntweerstand (een weerstand met een bekende hoge waarde) over een arm van de brug, zodat een bekende ΔR ontstaat. Het uitgangssignaal van de brug kan dan worden gemeten en vergeleken met de verwachte spanningswaarde. De resultaten kunnen vervolgens worden gebruikt om fouten in de totale meetweg te compenseren of om simpelweg de algemene werking te controleren.

6/6.18.12

Meten van kleine verplaatsingen

Inleiding

Van lang naar kort
In hoofdstuk 6/6.18.8 zijn sensoren besproken voor het meten van afstanden. De aldaar besproken trekdraadsensoren zijn echter alleen bruikbaar voor het meten van relatief grote afstanden, in ieder geval afstanden die in het meterbereik liggen. In dit hoofdstuk worden meettechnieken besproken voor het meten van kleine afstanden of kleine verplaatsingen. Te denken valt hierbij aan verplaatsingen in het micro-, millimeter- en centimeterbereik.

Vibraties
Vibraties, oftewel trillingen van voorwerpen, uiten zich ook door zeer kleine lengteveranderingen. Ook dergelijke vibraties zijn met de hier beschreven technieken uitstekend te detecteren en te meten.

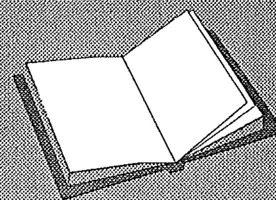
Beschikbare technieken
Er bestaan zeven principieel verschillende methoden om kleine verplaatsingen te meten:
- rekstrookjes;
- inductieve sensoren;
- capacitieve sensoren;
- meetlinealen;
- CCD-array's;
- ultrasone technieken;
- microgolf technieken.

In de volgende paragrafen worden deze systemen in het kort besproken.

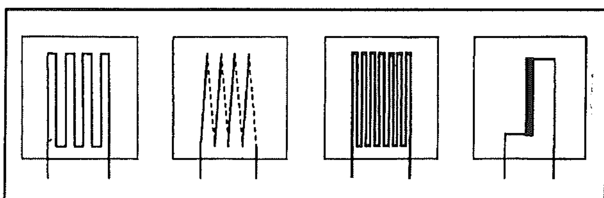
Rekstrookjes

Meten van kleine lengtevervormingen
Met rekstrookjes kan men kleine vervorming van een voorwerp meten. Deze kleine vervormingen uiten zich onder de vorm van zeer kleine variaties in de afmetingen van een voorwerp. Rekstrookjes zijn bijvoorbeeld ideaal om de uitzetting van een voorwerp onder invloed van een trekkracht of een temperatuur te meten. Rekstrookjes bestaan uit een weerstandsdraad. Als deze draad wordt uitgerokken zal zijn weerstand toenemen. Deze weerstandstoename is in een bepaald gebied tamelijk recht evenredig met de lengtetoename van de draad. Op deze manier kan men lengtevariaties omzetten in weer-

LEES OOK:
Hoofdstuk 6/6.18.8
Hoofdstuk 6/6.18.11
Hoofdstuk 6/7.13



standsvariaties, die gemakkelijk zijn te meten. Rekstrookjes worden met een speciale lijm op het te meten voorwerp bevestigd. Het rekstrookje ondergaat zo elke uitzetting of inkrimping van het voorwerp. Maar ook torsie- of buighoeken kunnen worden vastgesteld via aangepaste rekstrookjes en met behulp van een bepaalde omrekening. Door deze grootheden nader om te rekenen kunnen zo ook de draai- en buigmomenten worden bepaald. In dat geval moeten de fysische eigenschappen van het voorwerp wel bekend zijn.
In figuur 6/6.18.12-1 zijn de meest voorkomende soorten rekstrookjes afgebeeld.



Figuur 6/6.18.12-1: Uitvoeringsvormen van rekstrookjes.

Rekenkundig verband

Door de vervorming van het rekstrookje verandert dus ook de effectieve lengte en de doorsnede van de geleider en ten gevolge daarvan ook zijn weerstand. De relatieve veranderingen verhouden zich tot elkaar als volgt:
$[\Delta R/R] = k * [\Delta l/l]$
Zou alleen de lengte van de geleider veranderen, dan zou gelden dat $k = 1$. Bij een metalen rekstrookje ligt de waarde voor k echter tussen 2 en 3 (afhankelijk van de dwarscontractieconstante), terwijl bij halfgeleiders de waarde van k boven de 100 ligt. Halfgeleider rekstrookjes zijn echter onderhevig aan sterke temperatuurscoëfficiënten en hebben een nietlineaire karakteristiek.

Eigenschappen van de verlijming

Er worden bepaalde eisen gesteld aan de verlijming. De lijmstreep moet zo dun mogelijk zijn en toch voldoende isolatie bieden. Bovendien moet de lijm de vervorming zo correct mogelijk overbrengen. Dit houdt in dat de lijm zelf slechts een geringe elasticiteit mag hebben omdat er anders op het lijmoppervlak een merkbaar geringere vervorming optreedt. Deze eigenschap kan natuurlijk ook worden beïnvloed door de dikte van de lijmlaag.

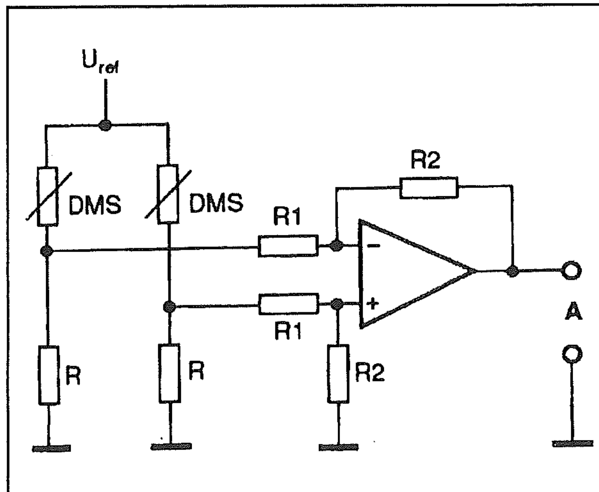
Karakteristieken

Bepalend voor het rekstrookje zijn, naast de geometrische afmetingen ervan, de beide parameters nominale weerstand (bij nominale temperatuur) en de k- of GF-factor. Bovendien wordt de weerstandstolerantie aangegeven. Nadere gegevens zijn terug te vinden in hoofdstuk 6/6.18-11.

Meetbrug

Omdat de relatieve lengteverandering van een rekstrookje meestal binnen de 1 % moeten om in het lineaire gebied te blijven en omdat deze bij de meeste praktische metingen nog ver daaronder blijft, is bij metalen rekstrookjes ook de relatieve weerstandsverandering zeer gering. Om niettemin gevoelige meetschakelingen te realiseren, wordt in dat geval meestal een brugschakeling toegepast waarbij doorgaans twee weerstanden van de brug worden vervangen door een rekstrookje. Daarbij doet het ene strookje dienst als meetwaarde-opnemer terwijl het andere slechts fungeert als temperatuurcompensatie. Een dergelijk meetsysteem is weergegeven in figuur 6/6.18.12-2. Hierbij zijn de rekstrookjes voorgesteld door het symbool DMS.

6.18 Sensor IC's



Figuur 6/6.18.12-2: Het principe van lengtemeting met behulp van twee rekstrookjes DMS in een brugschakeling.

Nulpunt en drift

Om een zo nauwkeurig mogelijk meetresultaat te verkrijgen, moet het nulpunt in ontspannen respectievelijk onvervormde toestand opnieuw worden gedefinieerd. Deze kalibratie kan via een instelpotentiometer op de meetbrug maar ook via softwaretechnische compensatie plaatsvinden. Om drift van de hierop volgende meetschakeling te onderdrukken, kan de referentiespanning een wisselspanning zijn. De verschilspanningsversterker kan dan via condensatoren worden gescheiden. Aan het eind moet gelijkrichting plaatsvinden om de meetsignalen via de computer te kunnen verwerken.

Frequentiebereik

Het frequentiebereik van de meetbare uitzettingsverandering kan tot enkele honderden kHz bedragen zodat ook snelle vibraties exact kunnen worden bepaald.

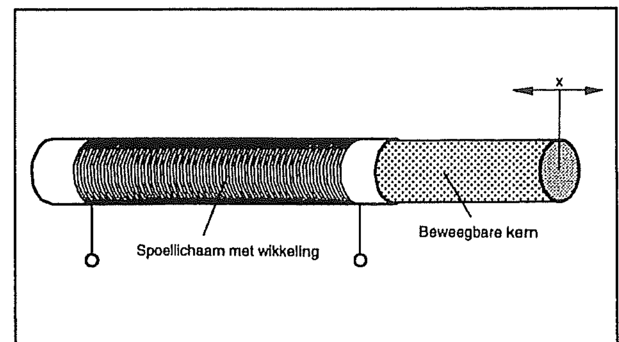
Tweedimensionale metingen

Speciale rekstrook sensoren beschikken over meerdere uitzettingselementen met verschillende trekrichtingen zodat ook tweedimensionale metingen mogelijk zijn.

Inductieve sensoren

Inleiding

Bij inductieve sensoren wijzigt de inductiviteit zich door het verplaatsen van een kern ten opzichte van een spoel. De meest effectieve en nauwkeurigste methode hiervoor is een sensor met verplaatsbare kern. Het principe is weergegeven in figuur 6/6.18.12-3.

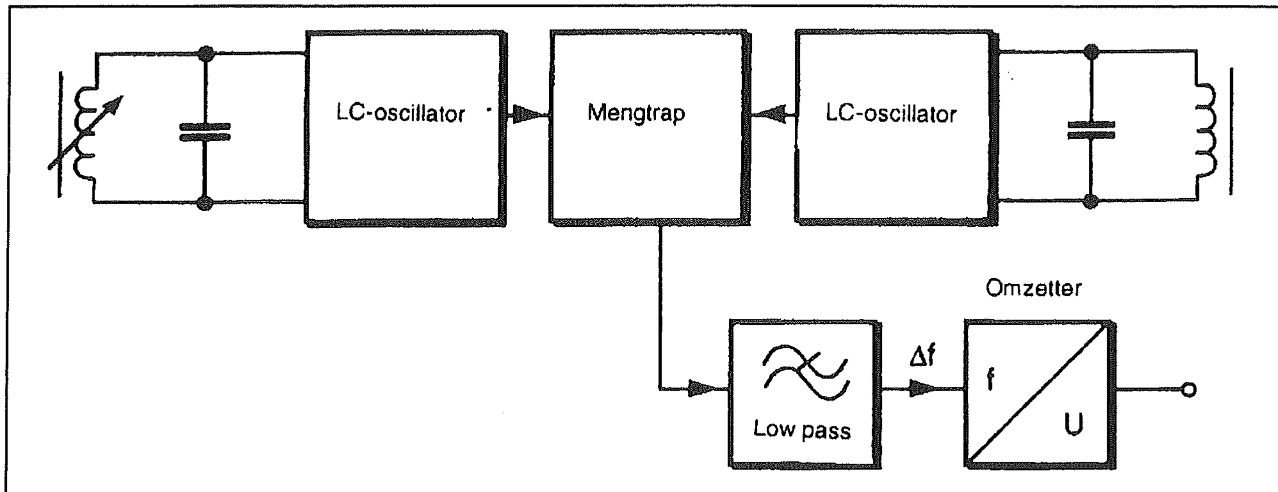


Figuur 6/6.18.12-3: Het principe van inductieve afstandsmeting.

Verstemmen van een LC-oscillator

De verandering van de inductiviteit wordt gebruikt om de frequentie te variëren van een LC-oscillator. Om een nulpunt in te kunnen stellen wordt een tweede oscillator gebruikt die in het nulpunt-stadium moet worden afgestemd op de frequentie van de eerste. Een mengtrap vergelijkt de beide frequenties en vormt de verschilfrequentie. Een dergelijke BFO (Beat Frequency Oscillator) kan gemakkelijk op een willekeurig nulpunt worden afgeregeld, zie figuur 6/6.18.12-4.

6.18 Sensor IC's



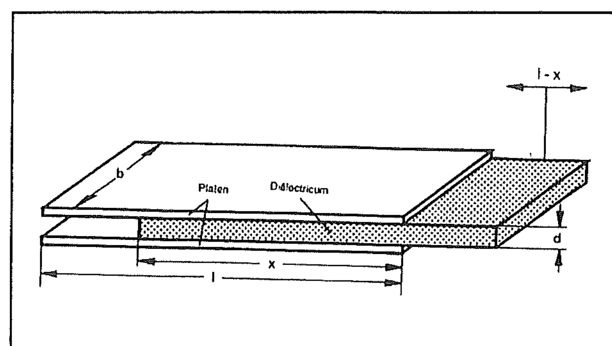
Figuur 6/6.18.12-4: Het verwerken van de sensorspoel in een Beat Frequency Oscillator.

Afhankelijkheid van de inductie

De magnetische weerstand R_m van de spoel wordt als het ware gewijzigd door beïnvloeding van de afzonderlijke weerstanden. Datgene dat zich bij het verplaatsen van de kern met name wijzigt, is de gemiddelde lengte van de veldlijnen door de lucht. Dit is rechtstreeks van invloed op R_m. Bij benadering is R_m dus lineair afhankelijk van de afgelegde weg. De inductiviteit is echter evenredig aan de reciproke waarde van de magnetische weerstand, de zogenaamde A_L-waarde. Daardoor is de resonantiefrequentie van een afgestemde kring, waar deze spoel deel van uit maakt, ongeveer evenredig aan de vierkantswortel van de afgelegde weg. Bij deze meetmethode is linearisatie onontbeerlijk, zelfs als de schakeling optimaal is aangepast.

Kernmateriaal

Een dergelijke inductieve signaalgever kan natuurlijk zelf worden vervaardigd en zo aan individuele behoeften worden aangepast. Het ferrietkernmateriaal dient te worden aangepast aan de gekozen resonantiefrequentie. Ligt de resonantiefrequentie beneden 100 kHz dan is het soort ferrietmateriaal niet kritisch. De relatieve permeabiliteit μ_r kan ongeveer tussen circa 20 en enkele duizenden liggen. De waarde hoeft bij deze schakeling echter niet zo hoog mogelijk te zijn omdat het hier gaat om een luchtspoel waarvan de lengte van de veldlijnen in lucht een wezenlijk bestanddeel uitmaken. Bovendien is over het algemeen een lage μ_r ook geschikt voor hogere frequenties.



Figuur 6/6.18.12-5: Een plaatcondensator met verplaatsbaar diëlectricum.

$$C = \varepsilon_0 \cdot \frac{(1-x)b}{d} + \varepsilon_0 \varepsilon_r \cdot \frac{x \cdot b}{d} \quad \Rightarrow \quad C = \varepsilon_0 \frac{b}{d} \cdot (1 + x(\varepsilon_r - 1))$$

Figuur 6/6.18.12-6: De formules die de capaciteit C van een condensator met verplaatsbaar diëlectricum bepalen.

Capacitieve sensoren

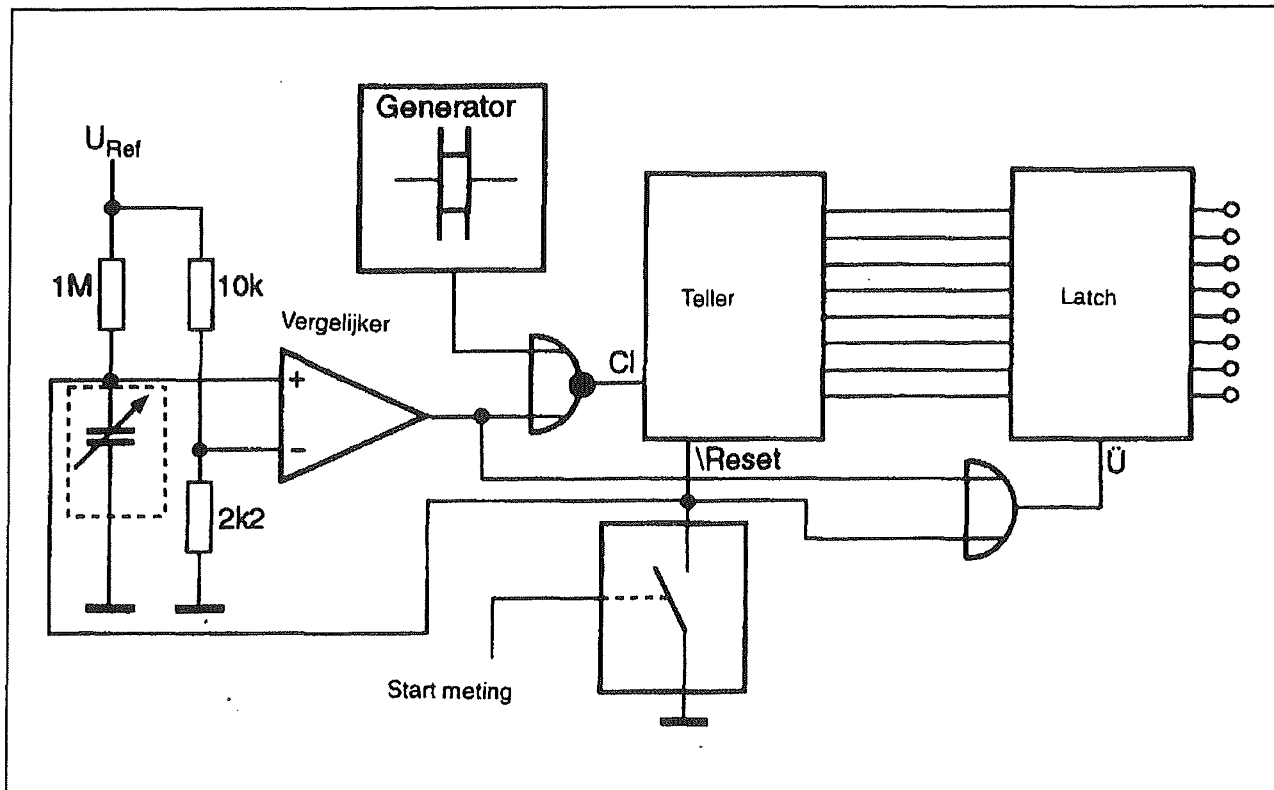
Inleiding
Op dezelfde manier als inductieve sensoren kunnen ook capacitieve sensoren worden samengesteld. Het principe van een plaatcondensator met verplaatsbaar dielectricum is weergegeven in figuur 6/6.18.12-5.
Onder ideale omstandigheden en voor alles bij een homogeen elektrisch veld, volgt de totale capaciteit uit de formules in figuur 6/6.18.12-6.

Afhankelijkheid van de capaciteit
De capaciteit zelf volgt volgens deze vergelijking dus lineair (niet proportioneel) de afgelegde weg x. Via een afgestemde kring verandert de frequentie volgens de formule:
$f = 1 / [2 * \pi * \sqrt{L * C}]$
Het ligt voor de hand om ook in dit geval een BFO toe te passen voor het bepalen van de frequentieverschuiving. Daarbij dient tevens rekening te worden gehouden met het niet-lineaire verband.

Indirecte meting
Een andere mogelijkheid voor het bepalen van de afgelegde weg x is het indirect meten van capaciteit C. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de laadtijd totdat een bepaalde spanning is bereikt. Daarbij bestaat het proportionele verband:
t = const . C

Voor deze proportionaliteit is niet per sé een constante laadstroom nodig. Het principe van een dergelijke schakeling volgt uit figuur 6/6.18.12-7. Een handicap bij deze methode vormt de naar verhouding korte tijd die beschikbaar is wanneer de capaciteit gering is en de schakeling toch nauwkeurig moet zijn. De tijdmeting heeft volgens figuur 6/6.18.12-7 plaats via een teller die tijdens de laadtijd wordt opgehoogd. Dit vereist een zeer hoge telfrequentie om zo veel mogelijk impulsen binnen de meettijd te laten vallen. Aan dergelijke eisen kan natuurlijk slechts tot op zekere hoogte worden voldaan.

Voorbeeld: bepalen van de vulhoogten
Een capacitieve signaalgever is bijzonder geschikt voor het bepalen van de vulhoogte van vloeistoffen. Daarbij moet de vloeistof diëlectrische eigenschappen bezitten, hetgeen bij de meeste vloeistoffen het geval is. De beide platen worden ondergedompeld in de vloeistof en het verplaatsbare diëlectricum is de vloeistof zélf. Op deze manier wordt er een slijtagevrij meetsysteem gecreëerd waarvoor geen mechanische componenten nodig zijn. Bovendien blijven de kosten binnen de perken. Moet water als diëlectricum dienen, dan moeten de platen geheel met een kunststoflaag worden geïsoleerd omdat water immers altijd een niet te verwaarlozen restgeleiding vertoont die volgens het meetprincipe van figuur 6/6.18.12-7 van grote invloed zou zijn.



Figuur 6/6.18.12-7: Het bepalen van de verplaatsing door het meten van de capaciteit.

Signaalformaat

De signaaluitvoer vindt in dit geval reeds in het digitale formaat plaats zodat kan worden afgezien van een omzetting. Bovendien is de omzettingstijd relatief kort omdat de capaciteit van de integrator zeer klein is (enkele honderden pF).

Stoorspanningen

Bij het inbouwen van een signaalgever met twee platen in een systeem moet er op worden gelet dat de spanningvoerende plaat naar het met de aarde verbonden chassis is gekeerd. Is een dergelijke situatie niet haalbaar dan verdient het de voorkeur om een signaalgever met drie platen te vervaardigen waarbij de beide buitenste platen op de referentiespanning moeten worden aangesloten, conform de principeschakeling in figuur 6/6.18.12-7.

In dat geval moeten ook de beide diëlectrica mechanisch met elkaar worden verbonden. In beide gevallen wordt de invloed van stoorspanningen (50 Hz bromspanning) zo gering mogelijk gehouden.

Meetlinealen

Inleiding

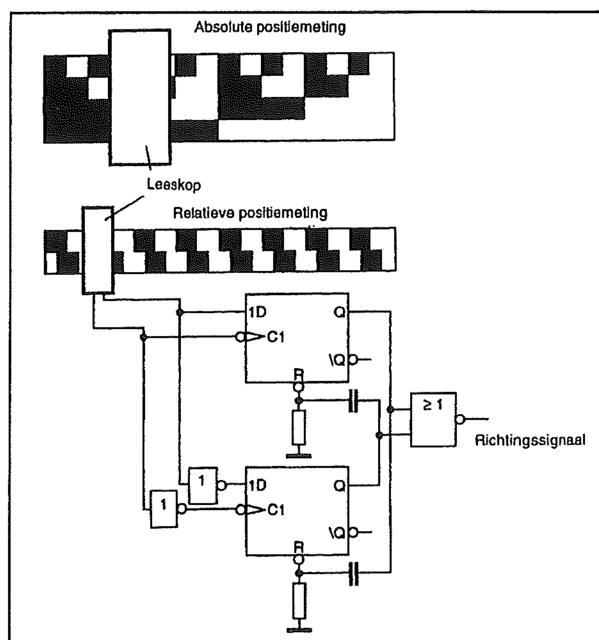
Meetlinealen bestaan uit een kunststof strip, die bedrukt is met een digitale code. In de meeste gevallen wordt gewerkt met de Gray-code, omdat deze bij iedere codeovergang maar één bit levert dat van waarde verandert. Op deze manier kunnen er zich geen meetfouten voordoen, doordat het ene bit iets eerder van waarde varandert dan het andere. De gecodeerde

meetlineaal wordt star gemonteerd op het voorwerp waarvan men de verplaatsing wil meten en afgetast met een optische leeskop.
Deze kop leest de op de lineaal gedrukte code en zet deze om in een binaire codes. Uit deze codes en het verloop ervan kan een meetsysteem de afgelegde weg afleiden, maar natuurlijk ook de snelheid van de verplaatsing.

Absolute codering
Bij meetlinealen dient onderscheid te worden gemaakt tussen absolute en relatieve respectievelijk incrementele codering.
Absolute codering kan op elk moment, zelfs na het uit- en weer inschakelen van het systeem, de positie aangeven omdat de positie-code bij een eenmaal gemonteerde en afgestelde lineaal altijd beschikbaar en gedefinieerd is en geen referentiepunt nodig heeft. Deze situatie is vergelijkbaar met een vast geïnstalleerde lineaal, voorzien van een gedetailleerde schaalverdeling.

Incrementele impulsgever
Voor incrementele signaalgevers geldt een andere situatie. Ze leveren bij het passeren van een stukje afgelegde weg slechts een gedefinieerd aantal impulsen. Een conclusie met betrekking tot de absolute positie is alleen mogelijk wanneer aan het verwerkende systeem is meegedeeld waar het referentiepunt ligt.
Na het inschakelen van het systeem moet daarom eerst het referentiepunt worden aangestuurd omdat er anders geen absolute posities worden gedefinieerd en ze daarom ook niet correct kunnen worden verwerkt. Deze situatie is vergelijkbaar met een losse lineaal, voorzien van een grove schaalverdeling.

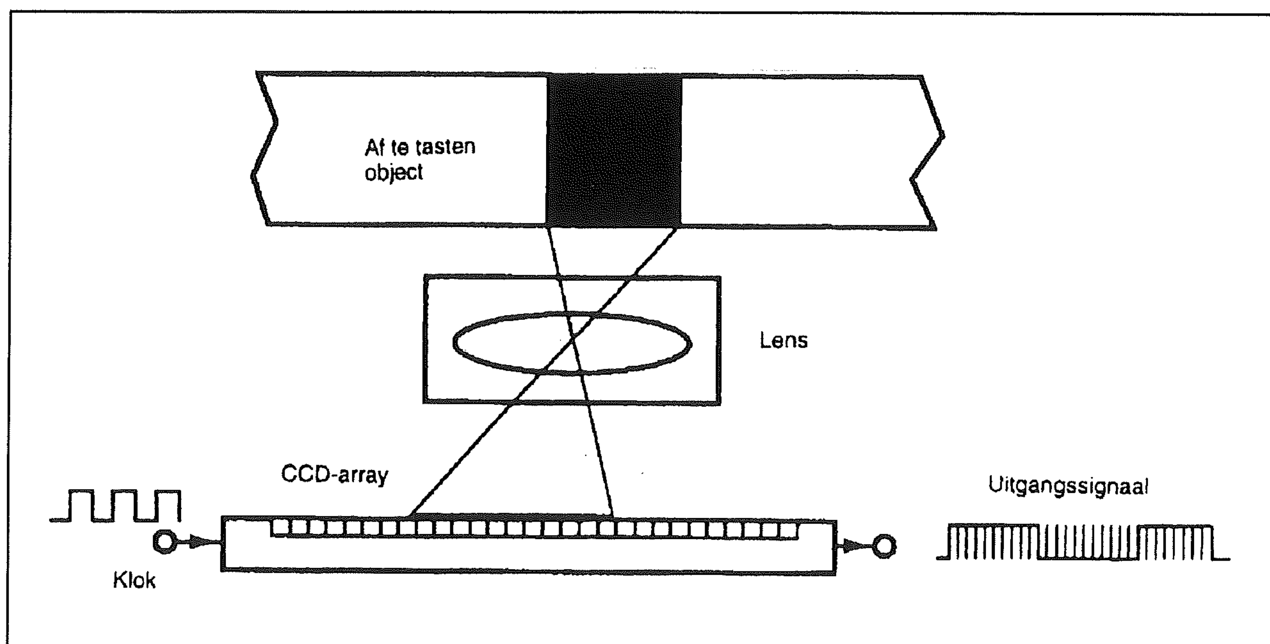
Principe
Het principe van deze beide meetsystemen is weergegeven in figuur 6/6.18.12-8. Het betreft hier een optisch aftastend systeem als tegenhanger van een magnetisch aftastend systeem.



Figuur 6/6.18.12-8: Het meten van kleine afstanden met gecodeerde meetlinealen.

Storingsgedrag
Komen er storingen respectievelijk verkeerde tellingen voor, dan heeft dat bij incrementele impulsgevers een fatale invloed omdat er dan een offset-fout ontstaat. Deze komt overeen met een afwijking ten opzichte van het virtuele referentiepunt. Om uit de problemen te geraken zit er niets anders op dan het referentiepunt opnieuw aan te sturen en de teller te resetten. Bij absolute impulsgevers zal dit probleem niet voorkomen. Zelfs na een storing zullen ze meteen weer de juiste waarden leveren.

6.18 Sensor IC's



Figuur 6/6.18.12-9: Eendimensionale aftasting van een bewegend voorwerp met een CCD-array.

Aan een dergelijk optische systeem en het meetraster hangt echter wel een pittig prijskaartje!

Richtingsdetectie

Voor incrementele impulsgevers zijn twee rastersporen nodig die 90 ° ten opzichte van elkaar zijn verschoven. Dit is absoluut noodzakelijk om de verplaatsingsrichting te kunnen bepalen met behulp van een decodeerschakeling, zie figuur 6/6.18.12-8. Bovendien kan de resolutie viermaal zo hoog worden wanneer alle flanken van de beide sporen als stapimpuls worden geïnterpreteerd. In plaats van een verschoven spoor kan natuurlijk ook gewoon de tweede sensor overeenkomstig worden verschoven.

Technische gegevens

De technische gegevens van meetlinealen geven nadere informatie over de resolutie (impulsen per lengte-eenheid), meetlengte, lineariteit en nauwkeurigheid.

De mechanische opbouw van meetlinealen is voor de meeste typen nagenoeg gelijk. Over de lineaal zelf loopt - spelingsvrij gelagerd - een optische leeskop. Over deze leeskop wordt de digitale informatie via een flexibele kabel naar buiten geleid. Er zijn ook systemen waarbij de signalen naar het vaste gedeelte van het meetsysteem (de lineaal dus) worden geleid om het probleem van de bewegende kabel te omzeilen.

CCD-array's

Inleiding

Contouren en beeldpatronen worden tegenwoordig in toenemende mate door een CCD-eenheid (Charge Coupled Device) afgetast. De beeldelementen van moderne halfgeleidercamera's werken volgens hetzelfde principe maar hierbij is het lichtgevoelige oppervlak onderverdeeld

in meerdere lijnen. Voor het aftasten van een ééndimensionale verplaatsing van lichamen met een duidelijke structuur kan doorgaans worden volstaan met beeldelementen met slechts één lijn. Dit heeft ook een gunstige invloed op het kostenplaatje. In hoofdstuk 6/7.13 wordt nadere informatie gegeven over dergelijke eendimensionale CCD-array's.

Verwerking van het beeldsignaal

Voor de verwerking van het meestal seriële beeldsignaal zorgt de achtergeschakelde elektronica respectievelijk een microbesturing. Als richtsnoer voor de positie van een licht/donker-overgang op het beeldoppervlak dient de tijd tussen initialisatie en het verschijnen van de spanningssprong op de seriële uitgang. Voor elementen met parallelle uitgangen geldt daarentegen dat de positie van de overgang meteen zichtbaar is. Een goed optisch systeem zorgt er voor dat de omtrek van een zich op enige afstand bevindend object als beeld op het lichtgevoelige oppervlak van de chip valt. De positie van een dergelijk objectief moet natuurlijk met zorg worden gekozen teneinde een scherpe afbeelding te krijgen.

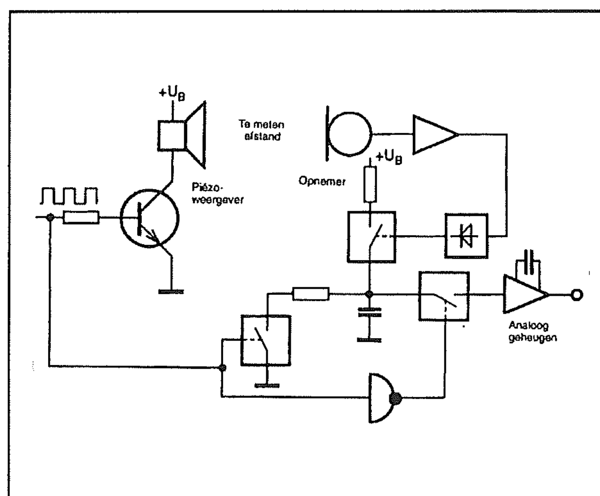
Praktische realisatie

Het principe van een dergelijke sensor met eendimensionale aftasting is geschetst in figuur 6/6.18.12-9. Voor CCD-array's kan geen doorsnee schakeling worden aangegeven. Bij een bepaalde probleemstelling moet de geschikte sensor worden gezocht en daarvoor dient dan bijpassende elektronica te worden ontwikkeld.
Criteria voor de chip zijn onder andere het aantal beeldelementen per lijn respectievelijk het aantal lijnen, de pixelkloksnelheid, de gevoeligheid, enzovoort.

Ultrasone afstandsmeting

Principe

Voor het bepalen van middelgrote afstanden (tot en met enkele meters) kunnen ultrasone trillingen worden toegepast. Deze methode werd vroeger ook veel gebruikt voor het focusseren van fotocamera's. Volgens het principe van figuur 6/6.18.12-10 stuurt de zender impulspakketjes uit die vertraagd bij de ontvanger terecht komen. De duur van deze vertraging geldt als maat voor de afstand tussen zender en ontvanger.



Figuur 6/6.18.12-10: Het principe van een ultrasone afstandsmeting.

Werking

Op het moment dat de zendimpuls start, wordt de ontvangstschakeling geïnitialiseerd. Tot het moment van binnenkomst van de impuls bij de ontvanger kan de meetschakeling via het laden van een condensator of het ophogen van een teller de tijd en daarmee de afstand bepalen. Omdat de ultrasone transducers over reso-

nantie-eigenschappen beschikken, kunnen de impulspakketjes via een laagfrequent rechthoekgenerator als uitstervende trillingen worden opgewekt.
De frequentie van de generator bepaalt zodoende alleen de frequentie van de impulspakketjes. De eigen resonantie van de transducer wordt bij deze gedempte trillingen automatisch ingesteld. De pauzetijden tussen de impulsen zijn afhankelijk van de te meten afstand. Liggen ze te dicht op elkaar, dan kunnen niet alle binnenkomende impulsen op tijd worden getriggerd. Liggen ze erg ver uit elkaar, dan wordt de meting niet vaak genoeg geactualiseerd. De pauzetijd moet daarom beduidend langer duren dan de looptijd t van het ultrasone signaal. Bij een afstand x en een ultrasone snelheid van 300 m/s geldt de formule:
$t = {}^{x} / 300\ m/s$

Gemeenschappelijke behuizing voor zender/ontvanger
Natuurlijk kunnen er ook systemen worden gebouwd waarbij de zender en ontvanger zich in één behuizing bevinden. Het directe ultrasone signaal naar de ontvanger moet dan door speciale maatregelen (weke ophanging, tussenwand, enzovoort) worden onderdrukt. De afstand tot het voorwerp dat de ultrasone trillingen weerkaatst moet in dat geval natuurlijk tweemaal worden doorlopen, zodat in vergelijking tot de eerste methode steeds de dubbele afstand wordt gemeten.

Afstandsmeting via microgolven

Werking
Op de methode van afstandsmeting via microgolven wordt niet uitgebreid ingegaan omdat dergelijke meetsystemen zeer ingewikkeld en duur zijn en zelfbouw veel ervaring met de HF-techniek vereist.
Het principe van afstandsmeting via microgolven vertoont veel gelijkenis met de hierboven besproken echomethode door middel van ultrasone trillingen en wordt aangeduid met het algemeen bekende begrip radar. Er worden echter elektromagnetische golven gebruikt die in tegenstelling tot ultrasone trillingen geen verspreidingsmedium nodig hebben. De toegepaste frequenties zijn zeer hoog (meerdere GHz) om het systeem goed te kunnen uitrichten. De antenne wordt beurtelings door zowel zender als ontvanger gebruikt.

Beperkingen
Bij afstandsmetingen kunnen afstanden die korter zijn dan 10 m erg moeilijk worden bepaald ten gevolge van resolutieproblemen. De snelheidsmetingen leiden, ook bij in theorie dicht op elkaar volgende objecten, wel tot een goed resultaat (denk hierbij aan de snelheidscontrole van auto's). De snelheidsmeting vindt plaats via een interferentiemeting tussen het verzonden en het ontvangen signaal. Bij additief mengen ontstaat er een zwevingssignaal waarvan de frequentie geldt als maatstaf voor de snelheid van het object.

6/6.18.13

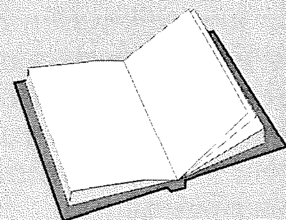
Contactloze positiebepaling met PSD's: Position Sensing Detectors

Inleding

Met licht positie bepalen
Fotodetectoren die de helderheid van lichtbronnen bepalen worden op grote schaal toegepast, denk maar eens aan camera's, streepjescodelezers en laserprinters. Ze vormen een belangrijk onderdeel van de meeste wetenschappelijke instrumenten die de lichtintensiteit of de kleur meten.
Er is echter nog een andere categorie detectoren waarbij het niet in de eerste plaats gaat om het meten van de intensiteit van lichtbronnen. Alhoewel deze componenten voor allerlei doeleinden worden gebruikt, zult u waarschijnlijk niet van het bestaan ervan op de hoogte zijn. Zo worden deze detectoren toegepast in medisch onderzoek om de snelle bewegingspatronen van het menselijk oog te volgen. Tevens worden ze gebruikt om 3D modellen van lichaamsbewegingen op te stellen: met name in de sportwereld van belang om de belasting van spieren en gewrichten onder extreme omstandigheden te kunnen bepalen. Wetenschappers vertrouwen op dergelijke componenten om lasers, lichtbronnen en spiegels af te regelen binnen fracties van millimeters.
Deze technologie maakt verder deel uit van ultrasnelle, nauwkeurige automatische focusseringsmethoden voor optische systemen waaronder microscopen. Op industrieel gebied worden deze detectoren toegepast voor het instellen van het gereedschap van werktuigmachines en voor trillingsanalyse.

PSD, Position Sensing Detector
In plaats van het kwantificeren van de helderheid van een lichtbron is dit type metingen bedoeld voor het vinden van de positie in de ruimte. Daarom wordt deze categorie sensoren in het algemeen aangeduid met "position sensing detectors" afgekort tot "PSD". In het Nederlands gaan deze detectoren door het leven onder de benaming "componenten voor optische positiebepaling".
PSD's worden toegepast voor het meten van de hoek, rechtheid, locatie, hoogte,

LEES OOK:
Hoofdstuk 6/6.18.8



centrering, uniformiteit van de oppervlakte, afstand, verplaatsing en trilling.
Deze technologie heeft bij diverse fabrikanten, zoals UDT Sensors en OSI Optoelectronics, geleid tot het op de markt brengen van een aantal uiterst nauwkeurige detectoren en specifieke optische instrumenten die in tal van gebieden in wetenschap en industrie worden toegepast.

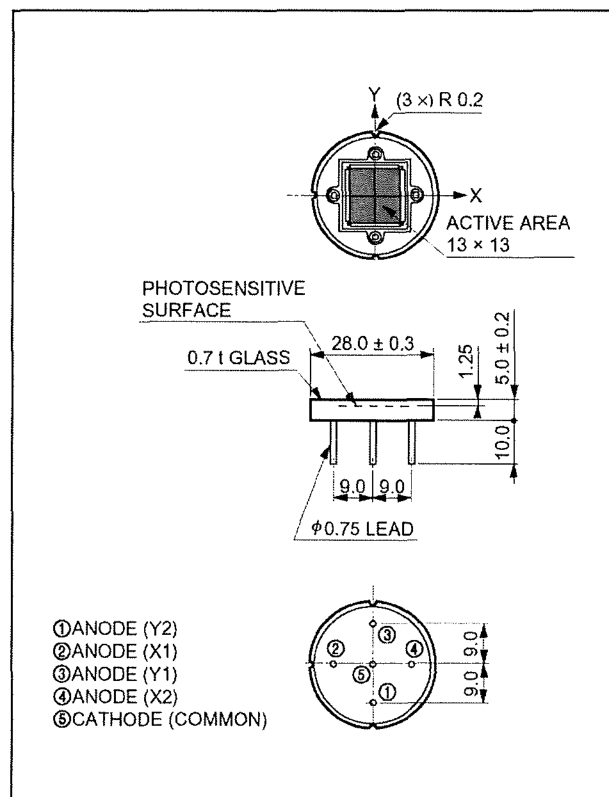
Optische sensoren
Het is belangrijk om u te realiseren dat optische positiebepalende instrumenten geen beeldverwerkende systemen als camera's en array's (CCD's) zijn. De laatste vereisen bemonstering en beeldverwerkende elektronica. Om de locatie van een optische gebeurtenis op hun oppervlak met een hoge resolutie te kunnen berekenen, zijn een computer en beeldanalyse software nodig. Hierdoor is het gebruik van beeldverwerkende systemen voor ruimtelijke metingen relatief traag.
In plaats daarvan "kennen" positiesensoren de plaats van een lichtstip op hun oppervlakte, dat wil zeggen dat de fotostroom die ze produceren recht evenredig is met de positie. Het zijn analoge en snel werkende componenten. Daarom worden optische positiebepalende instrumenten toegepast wanneer snelheid, resolutie en eenvoud noodzakelijk zijn, dat in tegenstelling tot camera's en array's waarbij analyse wordt vereist.

De sensoren
Om optische positiebepalende instrumenten te kunnen begrijpen, is het belangrijk dat u iets meer te weten komt over de sensoren die hierbij worden toegepast. Deze vormen het hart van het systeem en kunnen in twee groepen worden opgesplitst:

- gesegmenteerde (onderverdeelde) sensoren;
- continue sensoren.

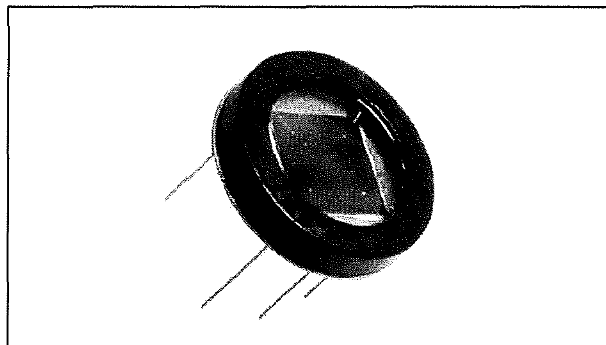
Gesegmenteerde sensoren

Opbouw
Dit type optische sensor wordt ook wel aangeduid met quadrant of tweecels detector. De componenten hebben twee of vier afzonderlijke fotogevoelige elementen die zijn gescheiden door een minuscule spleet, zie figuur 6/6.18.13-1. In figuur 6/6.18.13-2 is een voorbeeld gegeven van hoe zo'n detector er in de praktijk uitziet.



Figuur 6/6.18.13-1: Opbouw van een gesegmenteerde detector.

6.18 Sensor-IC's



Figuur 6/6.18.13-2: De vertaling van figuur 6/6.18.13-1 naar de realiteit.

Werking

Een lichtstip die slechts één element raakt, produceert een fotostroom in dat betreffende element. Wordt de lichtstip over het oppervlak van de detector verplaatst, dan wordt de energie gedistribueerd tussen aanliggende elementen. De verhouding tussen de fotostromen op de uitgangen van deze elementen bepaalt de positie van de lichtstip op het oppervlak.

Het is belangrijk om te weten dat de detector alleen positie-informatie geeft over een lineaire afstand van de lichtstipdiameter. Anders zal wel bekend zijn dat er een bepaald segment wordt belicht, maar niet exact op welke plaats. Bij het werken met lasers kan daarom defocusseren noodzakelijk zijn om het maximale bereik te kunnen halen.

Bij een gesegmenteerde sensor is nog een ruimtelijke overweging erg belangrijk. De reactie op een verplaatsing van een cirkelvormige lichtstip is niet echt lineair.

Dit komt omdat de verhouding van de verplaatsing van de lichtstip ten opzichte van het percentage van het bereik dat verschuift tussen aanliggende segmenten niet lineair is. Een logisch gevolg van de "dode zône" tussen de afzonderlijke sensoren op de chip.

Toepassingen

Om deze reden kunnen gesegmenteerde sensoren het best worden toegepast als nulpunt- en middelpuntbepalende componenten. Voor dergelijke applicaties zijn hun prestaties ongeëvenaard. Testen in praktijksituaties hebben aangetoond dat de herhaalbaarheid 0,1 µm bedraagt. Deze hoge resolutie is te danken aan de bijna perfecte reactie uniformiteit tussen de elementen. Ook werken gesegmenteerde componenten met lichtniveau gevoeligheden die 1 pW benaderen met veel donkerder bronnen dan bij de continue positiebepalende detectoren het geval is.

De SPOT-serie

De SPOT-serie van OSI Optoelectronics bestaat uit dubbele detectoren en quadrantdetectoren, samengesteld uit PIN fotodioden. De componenten bevatten twee of vier discrete elementen op een substraat. Wordt er een lichtstraal precies op het midden van een quadrantdetector gericht, dan zullen de uitgangsstromen van elk van de elementen gelijk zijn waarmee het centrum of nulpunt wordt aangegeven. Als de lichtstraal zich verplaatst, zal er een onbalans in de stromen ontstaan waarmee wordt aangegeven dat de lichtstraal zich uit het midden bevindt.

De maximale vermogensintensiteit bedraagt 10 mW/cm^2.

De SPOT-2D, zie figuur 6/6.18.13-3, is de meest eenvoudige uitvoering. De sensor is een enkele as detector met twee discrete elementen. De SPOT-4D en SPOT-9D zijn quadrantdetectoren die lichtverplaatsingen langs twee assen detecteren.

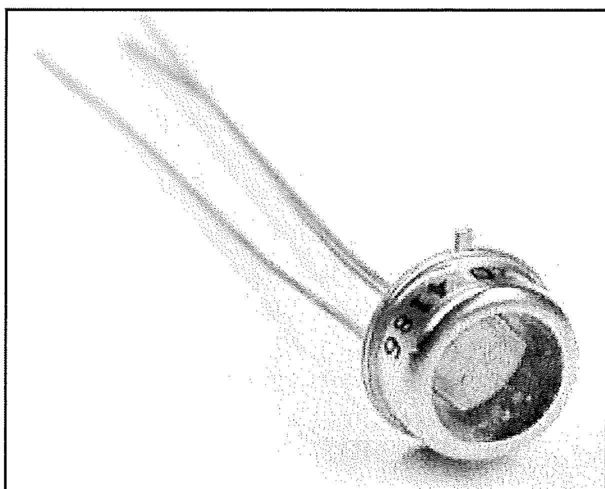
De componenten zijn uiterst stabiel over langere termijn en binnen het gespecifi-

6.18 Sensor-IC's

Model No.	Actice Area per Element: Area mm^2	Actice Area per Element: Dim mm	Element Gap mm	Resp. A/W 970 nm min	Resp. A/W 970 nm typ	Cap. pF -10 V typ	Dark Curr. nA -10 V typ	Dark Curr. nA -10 V max	NEP $W/Hz^{1/2}$ -10 V 970nm typ	Rev. Volt. V max	Rise time ns -10 V 780nm 50 Ohm typ	Temp. Range C Operating	Temp. Range C Storage	Pack. Style
Two-Element Series, Metal Package														
SPOT-2D	3.3	1.3*2.5	.127			11	0.15	2.0	1.1E-14		5	-40	-55	38/TO-5
SPOT-2DMI	0.7	0.6*1.2	0.13	0.60	0.65	3	0.05	1.0	6.2E-15	30	7	~	~	37/TO-18
SPOT-3D	2.8	0.6*4.6	.025			7	0.13	2.0	9.9E-15		4	+100	+125	38/TO-5
Four-Element Series, Metal Package														
SPOT-4D	1.61	1.3 sq	.127			5	0.10	1.0	8.7E-15			-40	-55	38/TO-5
SPOT-4DMI	0.25	0.5 sq	0.13	0.60	0.65	1	0.01	0.5	2.8E-15	30	3	~	~	
SPOT-9D	19.6	10 Ø	.102			60	0.50	10.0	1.9E-14			+100	+125	40/LoProf
SPOT-9DMI			0.01											
Plastic Package														
FIL-S2DG	3.3	1.3*2.5	.127			11	0.15	2.0	1.1E-14		5	-10	-20	14/Plastic
FIL-S4DG	1.6	1.3 sq	.127	0.60	0.65	5	0.10	1.0	8.7E-15	30	3	~	~	
FIL-S9DG	19.6	10 Ø	.102			60	0.50	10	1.9E-14			+60	+70	15/Plastic

Figuur 6/6.18.13-4: Overzicht van de specificaties van de SPOT-familie.

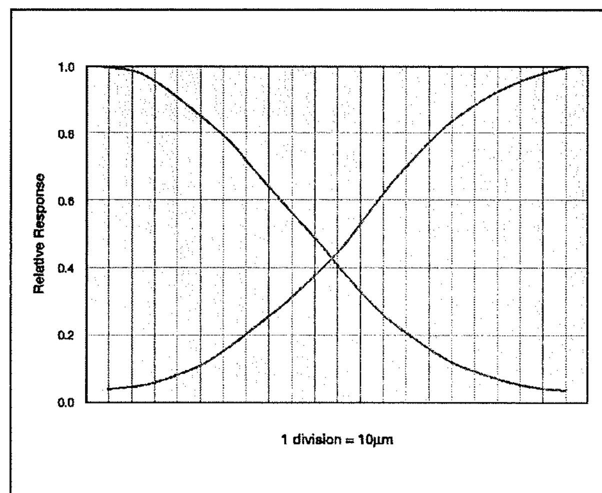
ceerde temperatuurbereik en bieden een snelle reactietijd bij een positie resolutie van 0,0005 inch. De specificaties van deze typen zijn weergegeven in de tabel van figuur 6/6.18.13-4.



Figuur 6/6.18.13-3: De SPOT-2D, de eenvoudigste sensor uit de SPOT-seri e.

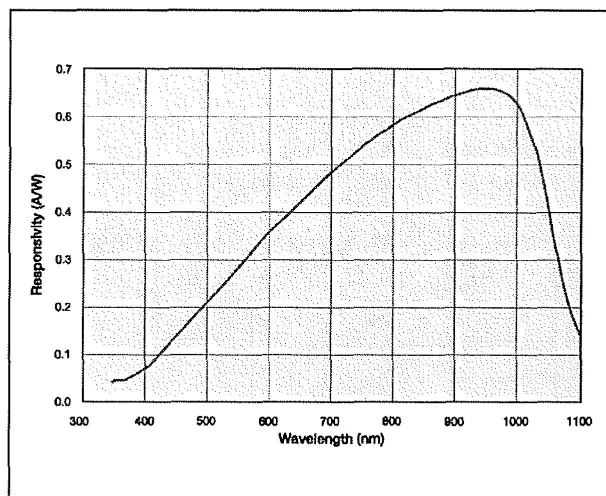
Specificaties

In figuur 6/6.18.13-5 is de cross-over karakteristiek van een dubbele sensor weergegeven. Voor deze grafiek werd de sensor belicht met een lichtstraal met een diameter van 20 μm en een golflengte van 970 nm. In figuur 6/6.18.13-6 is de typische spectrale gevoeligheid van de SPOT-serie getekend, terwijl uit figuur 6/6.18.13-7 de genormaliseerde donkerstroom volgt in functie van de reverse biasspanning over de PIN-diode.

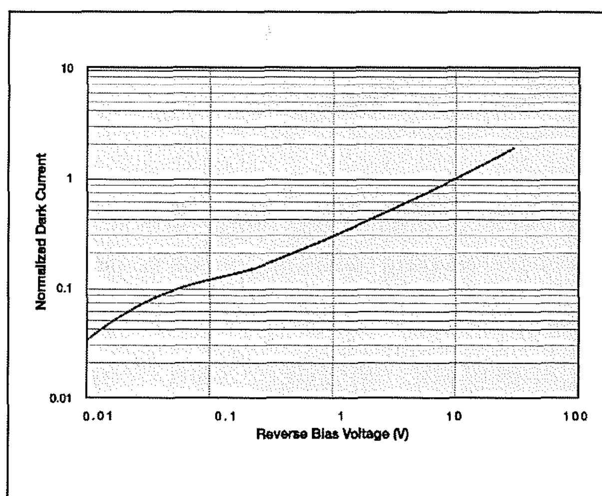


Figuur 6/6.18.13-5: De cross-over karakteristiek van een typische dubbele sensor uit de SPOT-serie.

6.18 Sensor-IC's



Figuur 6/6.18.13-6: De spectrale gevoeligheid van de SPOT-serie.

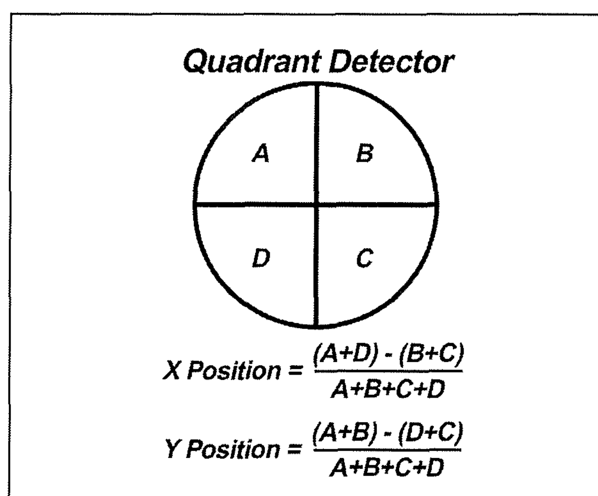


Figuur 6/6.18.13-7: De genormaliseerde donkerstroom in functie van de reverse biasspanning over de dioden.

Voorbeeldschakeling

In figuur 6/6.18.13-8 is het standaardschema getekend, waarmee u de uitgangsstromen van gesegmenteerde PSD's kunt omzetten in twee spanningen X en Y, die de positie van een lichtspot op het oppervlak van de sensor in een tweedimensioneel assenstelsel vastleggen. De vier donkerstromen A, B, C en D worden door middel van de operationele versterkers A1 omgezet in spanningen. Deze vier spanningen worden aangeboden aan drie verschilversterkers, die er bepaalde wiskundige bewerkingen op loslaten. Nadien worden de uitgangsspanningen van deze differentiele versterkers aangeboden aan twee analoge delers.

Waarom deze wiskundige bewerkingen noodzakelijk zijn volgt uit figuur 6/6.18.13-9. Deze figuur geeft de twee wiskundige uitdrukkingen, die het verband tussen de vier diodestromen en de X- en Y-spanningen vastleggen.



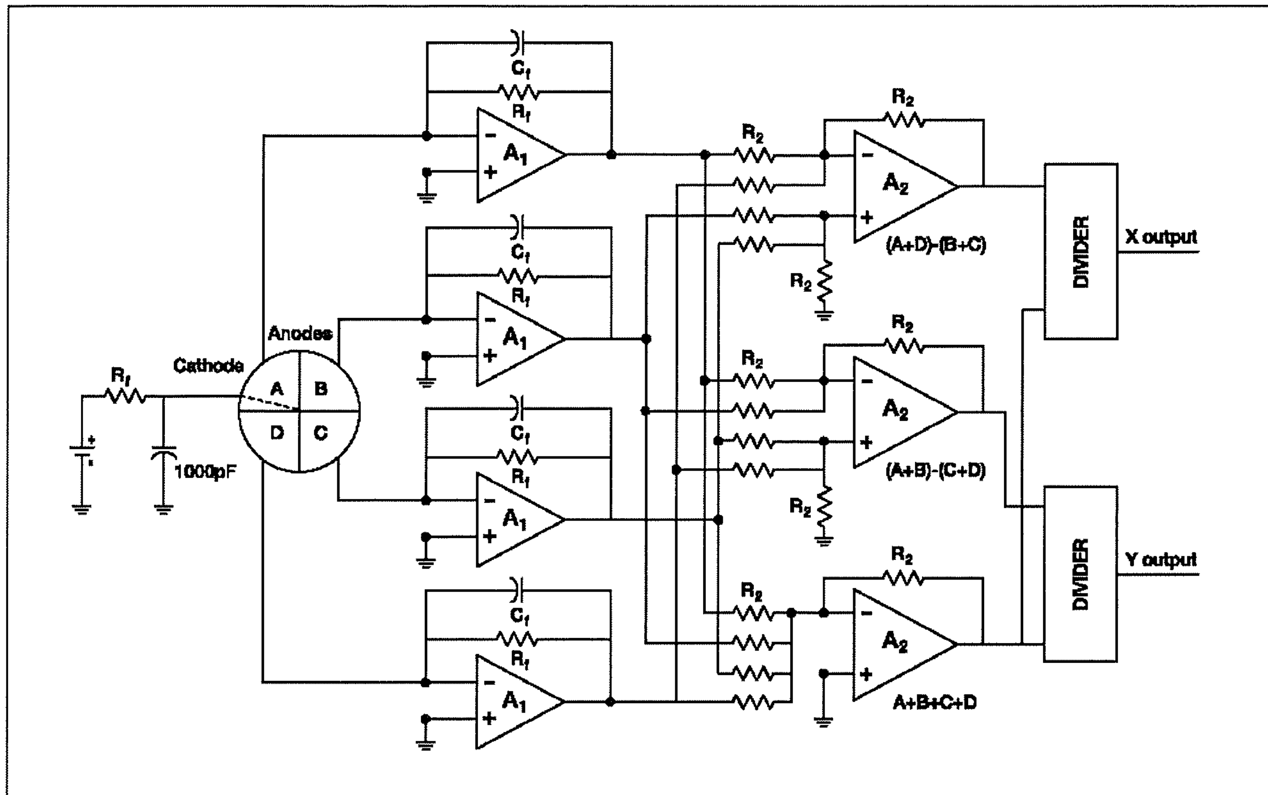
Figuur 6/6.18.13-9: De twee wiskundige uitdrukkingen, die de vier donkerstromen A, B, C en D omzetten in de X- en Y-waarden van een tweedimensioneel ruimtelijk assenstelsel.

Continue sensoren

Inleiding

Moet er bij positiebepalende toepassingen over een groot ruimtelijk bereik worden gemeten dan zijn continue sensoren de juiste keus.

6.18 Sensor-IC's



Figuur 6/6.18.13-8: Het standaardschema, waarmee u de vier diodestromen kunt omzetten in twee spanningen die de positie van de lichtstip op het gevoelig oppervlak van de sensor definiëren in een (x,y)-assenstelsel.

Het belangrijkste verschil tussen gesegmenteerde sensoren en continue typen is dat de laatste bestaan uit een enkele fotodiode. Er is geen spleet of dood gebied tussen de cellen aanwezig.

Bij continue positiebepalende sensoren wordt de positie bepaald door verdringing van de foto-gegenereerde elektronen binnen het substraat en niet door het profileren van de intensiteitsverplaatsing op het oppervlak zoals dat bij gesegmenteerde sensoren het geval is. Daarom werkt een twee-assige continue sensor als een paar lichtgevoelige variabele weerstanden die de x- en y-positie van een invallende lichtstip meten en omzetten in een stroom.

In vergelijking tot gesegmenteerde sensoren is het grote dynamische bereik het belangrijkste voordeel van continue PSD's. De positie van een lichtstip wordt tot aan de uiteinden van het actieve oppervlak bepaald. Het is eveneens belangrijk om te weten dat deze sensoren het centrum van een lichtstip kunnen bepalen. Hierdoor is de vorm van de lichtstip of de intensiteitsverplaatsing minder van belang.

Uitvoeringen

Continue positiesensoren zijn verkrijgbaar in een- en tweedimensionele configuraties en in een viertal varianten, namelijk:
- duo-lateraal;
- tetra-lateraal;
- pin-cushion;
- transparant duo-lateraal.

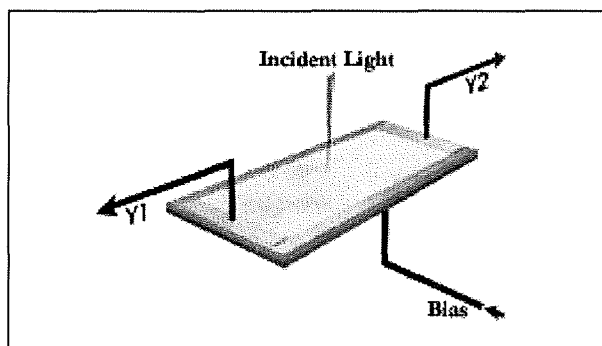
6.18 Sensor-IC's

Eendimensionele PSD's

In figuur 6/6.18.13-10 is de samenstelling van een dergelijke sensor weergegeven. De sensor bestaat uit één fotogevoelig PIN-oppervlak. De sensor kan dus de positie van een lichtspot in één dimensie meten. De lichtspot die op de sensor invalt heeft twee donkerstromen tot gevolg, die afvloeien via Y1 of Y2. Uit de grootte van deze twee stromen kan de positie van de lichtspot worden afgeleid en wel volgens de wiskundige uitdrukking:

positie = L/2 * [(Y1 - Y2) / (Y1 + Y2)]

waarin L een constante is die een maat is voor de afmeting in de meetrichting van het fotogevoelig oppervlak.

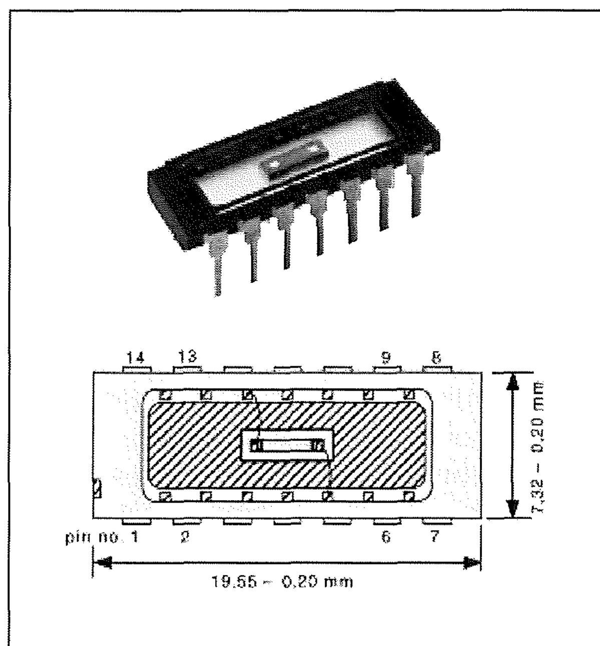


Figuur 6/6.18.13-10: De samenstelling van een eendimensionele sensor.

Voorbeeld: de 1L2.5

Een typisch voorbeeld van een eendimensionele PSD is de 1L2.5 van SiTek. Deze sensor is voorgesteld in figuur 6/6.18.13-11. De specificaties in het kort samengevat:

- gevoelig oppervlak
  2,5 mm bij 0,6 mm
- donkerstroom
  10 nA max.
- capaciteit
  2 pF max.
- stijgtijd
  50 ns max.
- inverse bias
  20 V max.
- thermische drift
  100 ppm/°C max.



Figuur 6/6.18.13-11: De 1L2.5 van Sitek is een typische vertegenwoordiger van de eendimensionele PSD's.

Tweedimensionele PSD's

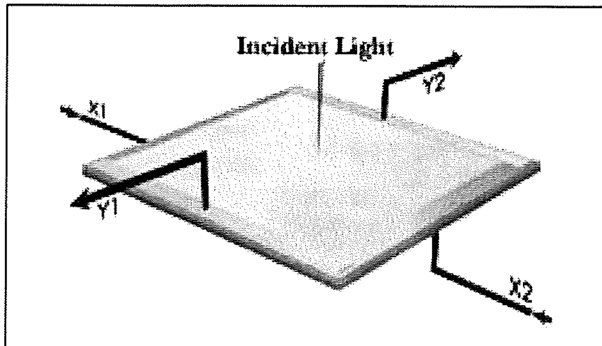
Deze sensoren hebben, zie figuur 6/6.18.13-12, een vierkant oppervlak waar vier elektroden op zijn aangebracht. De invallende lichtstip genereert de vier donkerstromen Y1, Y2, X1 en X2.

Aan de hand van onderstaande formules kunnen deze vier stromen worden omgezet in twee spanningen die de positie van de lichtstip in een (x,y)-assenstelsel definiëren:

positie y = Ly/2 * [(Y1 - Y2) / (Y1 + Y2)]
positie x = Lx/2 * [(X1 - X2) / (X1 + X2)]

waarin Ly en Lx natuurlijk weer twee constanten zijn die een maat zijn voor de x- en y-afmetingen van de sensor.

6.18 Sensor-IC's



Figuur 6/6.18.13-12: De samenstelling van een tweedimensionele sensor.

Duo-laterale sensoren

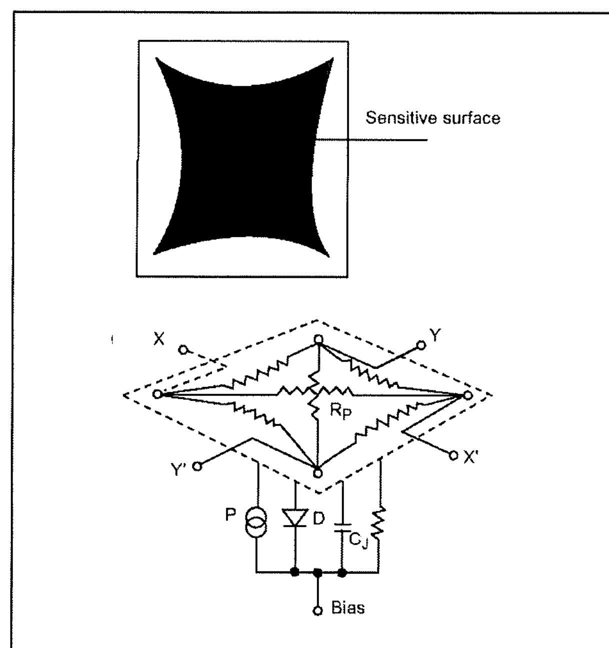
Het duo-laterale type heeft elektroden op zowel de voor- als achterzijde. Uit de equivalente schakeling kan worden afgeleid dat elk positiesignaal is onderverdeeld in twee delen, maar elk met twee gescheiden weerstandslagen. Deze benadering levert een minimale positioneringsfout op en een zeer hoge resolutie.

Tetra-laterale sensoren

Tetra-laterale typen hebben vier elektroden op de voorzijde van de fotodiode. Hierdoor wordt de totale geïnduceerde fotostroom door dezelfde weerstandslaag verdeeld in vier delen. Vergeleken met duo-laterale typen vertonen tetra-laterale componenten een groter niet-lineair gedrag voor posities die verder van het mechanische centrum zijn gelegen. Aan de andere kant produceren tetra-laterale componenten een kleinere donkerstroom en hebben ze een kortere reactietijd. Ook zijn ze wat gemakkelijker te gebruiken omdat ze werken met een minimale, of zelfs zonder, instelspanning.

Pin-cushion sensoren

Pin-cushion uitvoeringen zijn in principe verbeterde tetra-laterale componenten. Deze vertonen minder niet-lineair signaalgedrag aan de uiteinden. Dit wordt bereikt door de oppervlaktegevoeligheid van de fotodiode groter te maken en door de vorm de elektroden aan te passen, zie figuur 6/6.18.13-13. De pin-cushion component biedt alle voordelen van het tetra-laterale type, namelijk een lage donkerstroom, korte reactietijd en een minimale instelspanning.



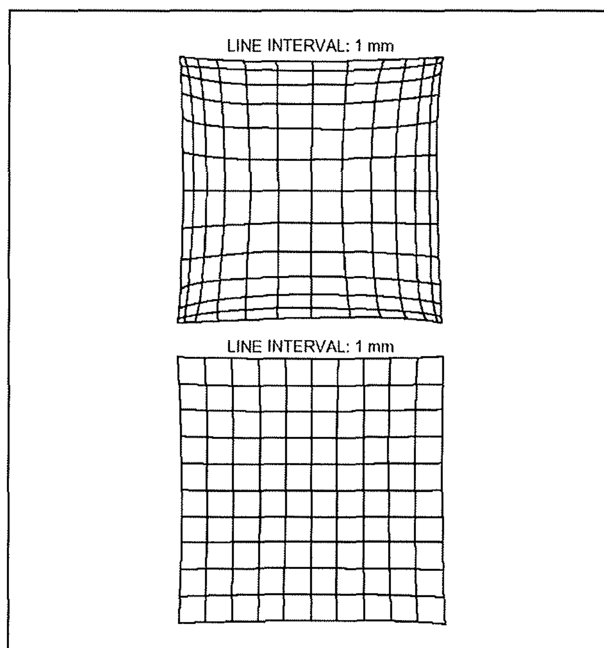
Figuur 6/6.18.13-13: De geometrie en het equivalent schema van een pin-cushion sensor.

In figuur 6/6.18.13-14 wordt de oppervlakte lineariteit van een tetra-laterale sensor (boven) vergeleken met deze van een pin-cushion uitvoering (onder). Commentaar overbodig!

Transparante duo-laterale sensoren

Transparante duo-laterale uitvoeringen werken in principe net zo als de standaard duo-laterale typen. Het enige verschil zit in de constructie, want hier wordt amorf silicium opgedampt op een

transparant substraat. Dat betekent dat een invallende straal dwars door de detector heen gaat en er alleen enigszins verzwakt en diffuus uitkomt.

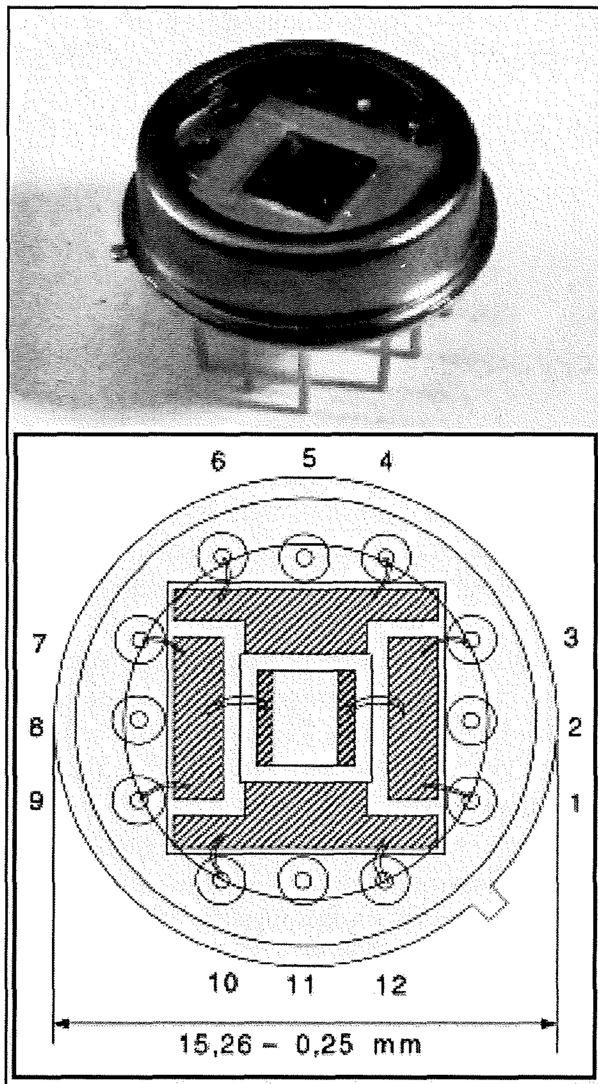


Figuur 6/6.18.13-14: Vergelijking van de lineariteit van een tetra-laterale sensor (boven) en een pin-cushion uitvoering (onder).

Een voorbeeld: de 2L2

De 2L2 van SiTek, zie figuur 6/6.18.13-15, is een typische vertegenwoordiger van de klasse van tri-laterale tweedimensionele sensoren. De specificaties van deze sensor in het kort samengevat:

- gevoelig oppervlak
  2,0 mm bij 2,0 mm
- donkerstroom
  200 nA max.
- capaciteit
  8 pF max.
- stijgtijd
  60 ns max.
- inverse bias
  20 V max.
- thermische drift
  200 ppm/°C max.



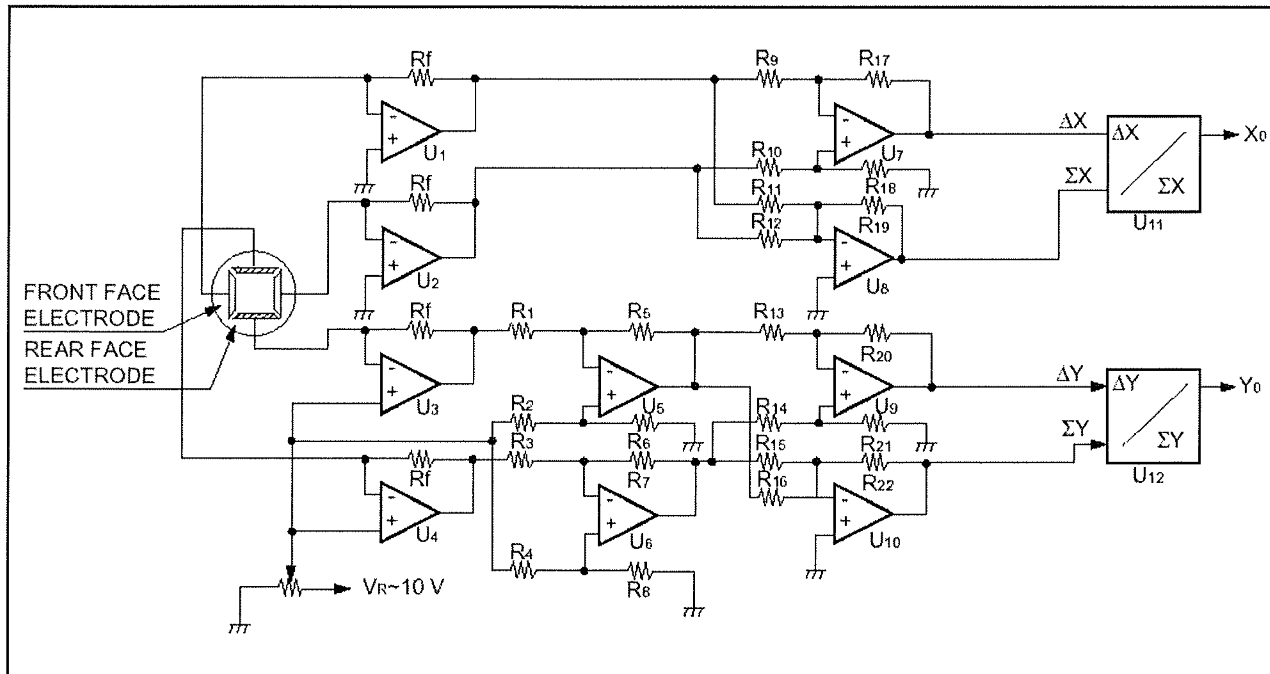
Figuur 6/6.18.13-15: De 2L2, een typische vertegenwoordiger van de tri-laterale tweedimensionele sensoren.

Praktische schakelingen

Duo-laterale sensoren

In figuur 6/6.18.13-16 is het standaardschema getekend, waarmee u de vier donkerstromen van een duo-laterale

6.18 Sensor-IC's



Figuur 6/6.18.13-16: Een voorbeeldschakeling voor het uitlezen van een duo-laterale sensor.

sensor omzet in de positiespanningen X en Y. De weerstanden R1 tot en met R22 hebben dezelfde waarde en zijn 1 % typen. De waarde van de weerstand Rf hangt af van de waarde van de maximaal te verwachten donkerstroom. Deze is uiteraard weer afhankelijk van het lichtniveau dat op de sensor invalt. Als analoge delers wordt geadviseerd gebruik te maken van de AD538 van Analog Devices.

Tetra-laterale sensoren

Omdat het contact bij tetra-laterale sensoren anders is dan bij duo-laterale sensoren, is de noodzakelijke schakeling ook iets anders. Het standaardschema is voorgesteld in figuur 6/6.18.13-17. Ook nu moeten de weerstanden R1 tot en met 16 dezelfde precisiewaarde hebben. Met de twee instelpotentiometers BG ADJUST wordt de donkerstroom die een gevolg is van de van de onderzijde van de sensor gereflecteerde straling gecompenseerd.

Pin-cushion sensoren

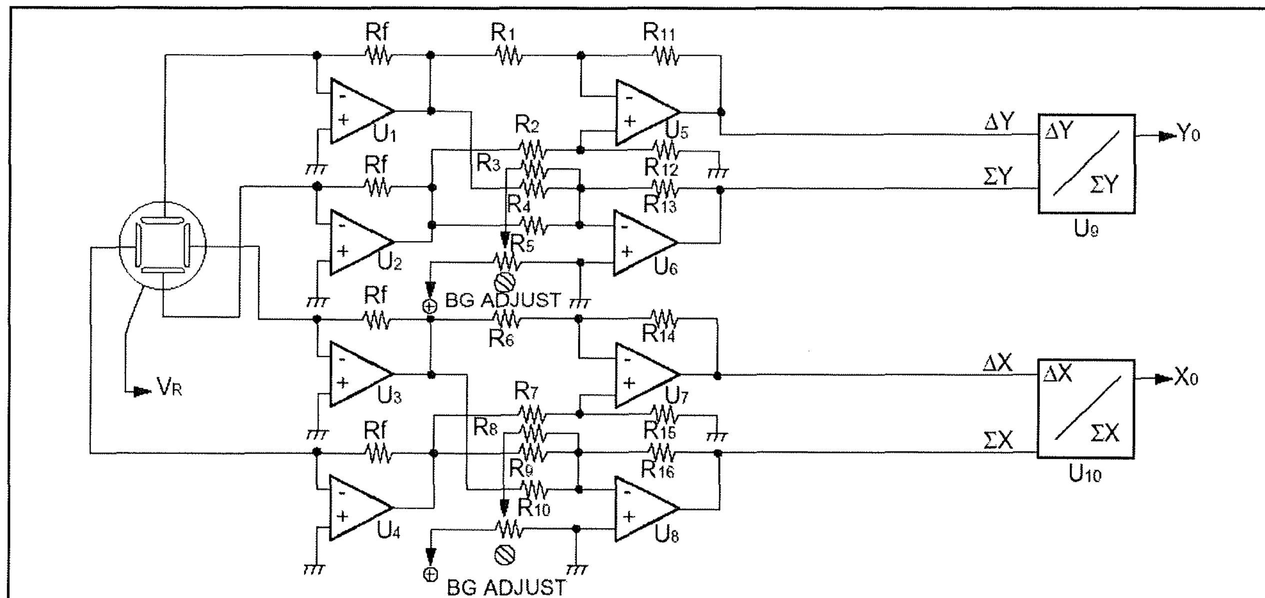
In figuur 6/6.18.13-18 wordt het standaardschema voorgesteld waarmee u de donkerstromen van een pin-cushion sensor kunt uitlezen. Ook nu geldt dat de waarde van de weerstanden R1 tot en met R15 identiek is.

Auto-collimatoren

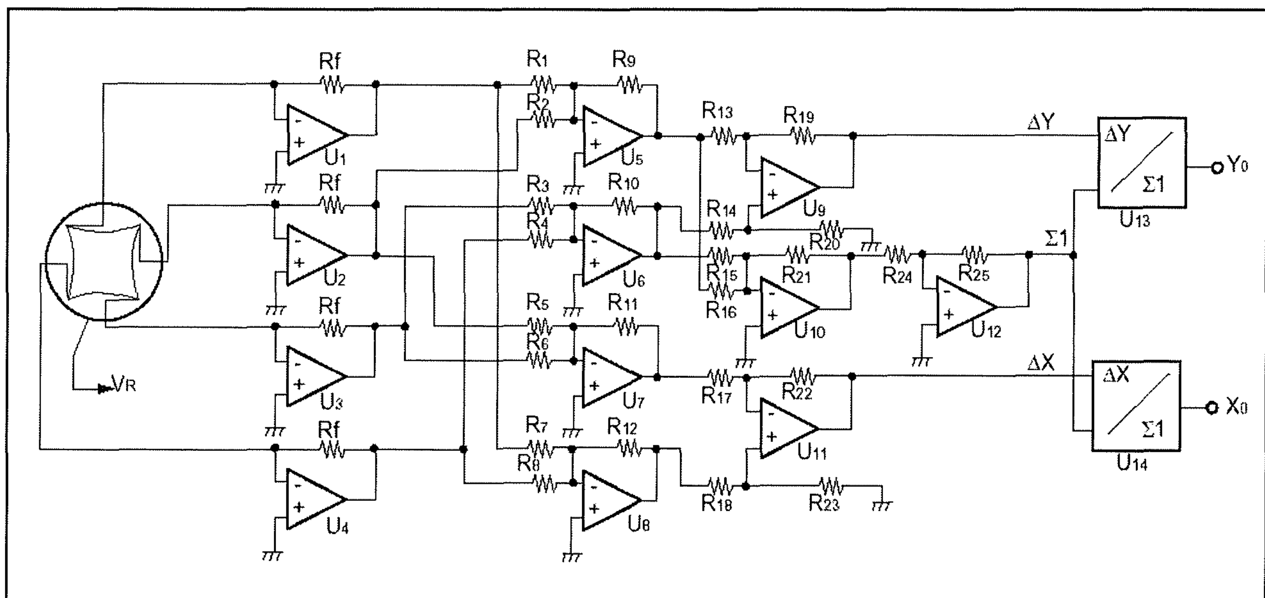
Inleiding

Bij het meten met PSD's moet u altijd beschikken over een lichtbron die een zeer smalle bundel licht uitstraalt en een optisch systeem, bestaande uit spiegels en lenzen. Het zou handig zijn als een dergelijke vrij uitgebreide meetopstelling als één apparaat beschikbaar was.
Auto-collimatoren zijn dergelijke volledig zelfstandig werkende optische instrumenten die bestemd zijn voor het bepalen van de hoekpositie van referentie oppervlakken. Ze worden gebruikt wan-

6.18 Sensor-IC's



Figuur 6/6.18.13-17: Een voorbeeldschakeling voor het uitlezen van een tetra-laterale sensor.



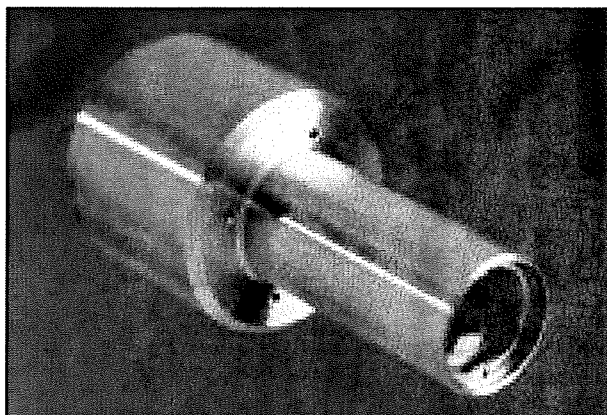
Figuur 6/6.18.13-18: Een voorbeeldschakeling voor het uitlezen van een pin-cushion sensor.

neer de vlakheid, de hoek, of de parallelstand zeer nauwkeurig moet worden gemeten. Tot de applicaties behoren het automatisch uitrichten van spiegels, servobesturing, kwaliteitscontrole en het testen van oppervlakteplaten, machine oppervlakken en optische componenten, vibratie en stabiliteitsmetingen en het meten van de buiging van bepaalde structuren.

Samenstelling

Een auto-collimator, waarvan figuur 6/6.18.13-19 een typisch voorbeeld geeft, is een optisch stelsel dat bestaat uit een positieve lens waarbij in het voor-

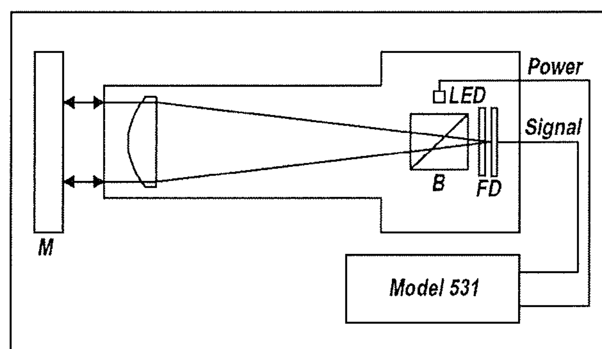
werpsbrandpunt een scherm met een gaatje is aangebracht en een stel kruisdraden of een schaalverdeling. Een krachtige infrarood LED met een golflengte van 856 nm binnenin het instrument produceert een krachtige lichtstraal, zie figuur 6/6.18.13-20.



Figuur 6/6.18.13-19: Een auto-collimator is een onderdeel dat een zeer gebundelde lichtbron bevat, de noodzakelijke optiek en een PSD.

Deze straal wordt teruggekaatst met behulp van een bundelsplitser en daarna via de lens gecollimeerd. Wordt deze straal teruggekaatst via een referentiespiegel die zich op het te testen object bevindt, dan keert deze straal terug via de lens en bundelsplitser naar de positiebepalende detectoren in het apparaat. Veranderingen in de positie van de invallende straal op de fotodioden zijn rechtstreeks evenredig met de veranderingen in de hoek van de referentiespiegel. De brandpuntsafstand van de lens bepaalt de invanghoek. Een ingebouwd sperfilter voor zichtbaar licht met een golflengte beneden 780 nm voorkomt dat omgevingslicht kan interfereren met het meetsignaal. Omdat auto-collimatoren als positiebepalende detectoren in het ontwerp worden opgenomen, zijn de geschikt om over een breed gebied hoeken te detecteren met een resolutie van 0,2 arcseconde.

Een ander voordeel van dit ontwerp is dat er ook vacuüm collimatoren kunnen worden geproduceerd voor het in een gesimuleerde ruimte-omgeving testen van optische systemen voor satellieten.



Figuur 6/6.18.13-20: Samenstelling van een auto-collimator.